

2004-A

695002269

***UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA***  
**CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**  
**Y AGROPECUARIAS**  
***DOCTORADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS***



***“Evolución bio-geológica, durante el Pleistoceno,  
en la Sierra de la Primavera, Jalisco, México”***

***TESIS***

que para obtener el grado de

**DOCTOR EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

Presenta

**M. C. Roberto Maciel-Flores**

Las Agujas, Zapopan, Jalisco, Mayo de 2006

## AGRADECIMIENTOS

Gracias a Dios por darme una familia, amigos, profesores y alumnos.

A mis padres Juanita y Roberto quienes me continúan enseñando.

A mi hermana Celia, mí cuñado Ricardo y mi sobrina Thalia.

A mi esposa Isabel y a mis hijos Roberto y Christian.

A mis profesores.

A mis amigos.

A ti.

A la Universidad de Guadalajara y

Finalmente a **Reingeniería para la Restauración Ambiental S. A. de C. V.**, por el financiamiento y suministro de los insumos para el presente proyecto, sin poner condiciones.

## INDICE

<b>Capítulo</b>	<b>Página</b>
Agradecimientos	i
<b>RESUMEN</b>	<b>vi</b>
<b>1.- INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
1.1.- Localización del área de estudio	10
1.2.- Antecedentes	13
1.3.- Definición del problema	17
1.4.- Justificación y objetivos	18
1.4.1.- Justificación	18
1.4.2.- Objetivos	20
1.4.2.1.- General	20
1.4.2.2.- Particulares	20
1.5.- Hipótesis	20
<b>2.- MÉTODOS</b>	<b>21</b>
2.1.- Recopilación e integración de información existente	21
2.1.1.- Fundamentos de la climatología	23
2.1.2.- Técnicas para la reconstrucción paleoclimática	25
2.1.3.- Paleomagnetismo	28
2.2.- Interpretación de la cartografía geológica	29
2.3.- Paleontología	30
2.4.- Estratotectónica	31
2.5.- Sismología	32
2.6.- Estudio de tefracronología	33
2.7.- Georeferencia de localidades tipo	36
2.8.- Geocronología	37

<b>3.- DESCRIPCIÓN DEL MEDIO FÍSICO</b>	<b>40</b>
3.1.- Geología	40
3.1.1.- Historia geológica	48
3.1.2.- Paleontología	49
3.1.3.- Estratotectónica	51
3.1.4.- Sismología	52
3.1.5.- Tefracronología	57
3.2.- Vegetación de La Primavera	59
3.3.- Clima	63
<b>4.- RESULTADOS</b>	<b>67</b>
<b>5.- DISCUSIÓN</b>	<b>70</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>75</b>
<b>REFERENCIAS</b>	<b>77</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>iv</b>

## ANEXOS

**Figuras**

- 1.1.- Tectónica de placas
- 1.2.- Variación de la temperatura en un millón de años.
- 1.3.- Variación de la temperatura en 800,000 años.
- 1.4.- Localización regional de la Sierra de la Primavera.
- 1.5.- Provincias fisiográficas.
- 1.6.- Estructuras regionales, rifts de Tepic, Chapala y Colima.
- 1.7.- Litología y edades del Pozo PR 9
- 1.8.- Cartografía del lago de la SP.
- 2.1.- Columnas de tefras en la SP.
- 2.2.- Trend de las fallas en el arroyo de Arena Grande, con fotografía de una falla con cuatro periodos de reactivación.
- 2.3.- Carta topográfica con la ubicación de las edades obtenidas en la SP.
- 3.1.- La duración de un día a lo largo de la historia de la Tierra.
- 3.2.- Perfil de la Sierra de la Primavera y su biogeografía
- 3.3.- Perfil topográfico de la SP a la SB
- 3.4.- Eventos sísmicos registrados durante el periodo de septiembre de 1999 a agosto 2000.
- 3.5.- Localización de sismos de 1990 a 2006.

**Cuadros**

- 1.1.- Tabla del tiempo geológico en la que se indican las glaciaciones a nivel mundial.
- 2.1.- Sismos históricos registrados por parte del Servicio Sismológico Nacional de 1990 a 2006.
- 2.2.- Edades de rocas de la Sierra de la Primavera (Mahood, 1980).
- 3.1.- Georeferencia de dos localidades con el mismo estrato, para medir el plegamiento registrado en la SP, entre las márgenes del lago y la parte central del mismo.
- 3.2.- Edad de fósiles de la SP.
- 3.3.- Arbolado presente, no predominante en la SP.
- 3.4.- Especies fósiles encontrados en la SP.

3.5.- Resumen del clima de la SP y SB.

### **Fotografías**

2.1.- Fósiles de la Sierra de la Primavera. Conservación Real.

2.2.- Fósiles de la Sierra de la Primavera. Moldes.

2.3.- Estratos antiguos con una fuerte inclinación, de 35° aproximadamente.

3.1.- Mosaico fotográfico de la Isla Isabel, Nay. en donde se puede apreciar su cráter lago.

3.2.- Panorámica del cráter lago de Santa María del Oro, Nay.

3.3.- Estratos fosilíferos

## RESUMEN

Con técnicas de paleontología, tefracronología, estrato – tectónica, geocronología y climatología se estudio el paleoambiente de la “Sierra de La Primavera” (SP), Jalisco, México, formada en el Pleistoceno tardío (126,000 a 27,000 años), esta integrada por mas de 22 domos y una caldera (110 ± 15 mil años), hay fallas y fracturas hasta con cuatro eventos de actividad y un trend NNE y NNW, históricamente se han registrado sismos asociados a la caldera. El vulcanismo y la tectónica modelaron su morfología. La evidencia de un paleolago intermitente formado dentro de la caldera, son los 24 estratos de tefras, depósitos fluviales y vulcáno - lacustres, (> 51 m de espesor) y con inclinaciones de 2° a 35°. El centro del paleolago se elevo más de 149 m por la resurgencia de la cámara magmática, esto y los cambios climáticos globales provoco su desaparición. Existen capas de pómez gigante y estratos con carbón y restos fósiles de pinos (conos, acículas y ramas) cuya edad es 38,170 a 39,000 años A.C. según el método de <sup>14</sup>C usado, se clasificaron como *Pinus durangensis* Martínez, *Pinus leiophylla* Schiede ex Schltdl. & Cham., *Pinus montezumae* Lamb., *Pinus luzmariae* Pérez de la Rosa, *Pinus teocote* Schltdl. & Cham.y *Pinus douglasiana* Martínez. Esta comunidad de pinos se desplazo de la SP, a la Sierra de Bolaños (SB), 177 km al noroeste y 850 m más alto (2500 msnm), climatológicamente la SB es más húmeda y fría que la SP, esto implica un movimiento de la frontera de la vegetación, asociado a cambios climáticos globales, usando estos pinos como bioindicadores, se deduce que la temperatura en la SP, se ha incrementado de 2° a 3° C y la precipitación disminuyo entre 100 y 200 mm. a partir del Pleistoceno tardío. El bosque de pino predominante en sus inicios, es ahora de pino - encino.

Palabras clave: Paleoclima, fósiles, caldera-lago; tefras; sierra La Primavera, cambio climatico global.

## ABSTRACT

The paleoenvironment of the “Sierra de la Primavera” (SP) Jalisco Mexico, was studied with paleontology, tephrochronology, strato-tectonic, geochronology and climatology techniques. It was created between 126,000 and 27,000 years ago (late Pleistocene) by more than 22 domes and a caldera (110 +/- 15 thousand years). There are fault and fractures with a NNE and NNW trends, with up of four reactivation periods. Historically, seismic events have been registered around the caldera. Volcanic and tectonic activities have contributed to the modification of the morphology. The evidence of an intermittent paleolake formed into the caldera, are 24 strata are built on tephras, fluvial and vulcano-lacustres deposits, (> 51 m thick), present 2° to 35° leanings. The central part of the paleolake has raised more than 149 m which was caused by the reappearance of the magmatic chamber, it and the climatic changes disappeared the paleolake. There are layers of gigantic pomez and strata with carbon which remaining from pines (ones, aciculas and branches). The method of <sup>14</sup>C used in fossils report an age of 38,170 to 39,000 years BP. They are classified as remainings of *Pinus durangensis* Martínez, *Pinus leiophylla* Schiede ex Schltdl. & Cham., *Pinus montezumae* Lamb., *Pinus luzmariae* Pérez de la Rosa, *Pinus teocote* Schltdl. & Cham.y *Pinus douglasiana* Martínez. This community of pines was moved of SP to the Sierra de Bolaños (SB), 177 km northeast and 850 m higher (25000 masl), it is climatologically more humid and colder than the SP. This implies a movement in the border of the vegetation, associated to global climatic changes. Using the community of pines like bioindicator, it is inferred that the temperature in the SP has increased from 2 to 3 C and the precipitation has decreased between 100 and 200 mm from the late Pleistocene on. The predominant pine wood of its early years is now pine – encino.

Keywords: Paleoclima, fossils, caldera-lake, tefras; sierra La Primavera, global climatic changes.



## 1.- INTRODUCCIÓN

Una pregunta constante que el ser humano realiza es: ¿En donde estoy? y esto involucra no solo obtener información sobre el área geográfica en específico, en donde se encuentra, sino también ubicarse en el **tiempo**. Ello permite establecer cronológicamente los cambios registrados en cierto lugar. Obtener respuestas a esta pregunta, implica una constante investigación, la cual ha desarrollado el ser humano en su breve historia sobre la Tierra, ha incluido conocer el origen de este planeta y del Universo y tal vez en forma menos prioritaria, indagar sobre la evolución propia y la del ecosistema en que encuentra inmerso. Eventualmente el hombre investiga que pasará con la Tierra y su sistema planetario en un futuro inmediato. Este planteamiento, se ha hecho en función de los ecosistemas terrestres o acuáticos presentes y fósiles. Para el caso de estudio, se hace sobre la Sierra de la Primavera.

El hombre ha inquirido a través de su existencia, como ha sido la evolución de la vida y desde el punto de vista científico, ha tratado de establecer que factores han contribuido para que algunas especies evolucionen o desaparezcan de la superficie terrestre. Algunas respuestas fueron plasmadas en los mitos de los pueblos de la Tierra y también en las obras de los más destacados científicos de la historia que han contribuido a la comprensión de la evolución de la tierra y de la vida en ella. En forma mas reciente, los geólogos, biólogos, paleontólogos, astrónomos y geofísicos entre otros, han buscado mayor información en la Tierra misma, usando información registrada en fósiles, rocas y hielo.

Si consideramos que la edad de la Tierra (ver cuadro 1.1), es de cerca de 4.600 mil millones de años (Mma) (Espíndola 2000 y Fastovsky, 1997), en tanto que la edad del homínido mas antiguo encontrado, es de aproximadamente 3.2 millones de años (ma), es posible apreciar el breve periodo que el hombre ha estado sobre la Tierra (Lugo, 2000).

A partir de su advenimiento, el hombre inicia su desarrollo mental, que lo lleva en el transcurso de los años a plasmar la observación de los fenómenos naturales que le toca

presenciar, en pinturas, escritos y otros medios. En su inicio empieza por expresar las

Cuadro 1.1.- La tabla del tiempo geológico, muestra intervalos cuando se cree que las glaciaciones eran de tal extensión como para prevalecer. Modificada de Stevens (1980).

Eon	Era	Periodo	Epoca	Edad (Ma)	Epoca Glaciar
Fanerozoico	Cenozoico	Cuaternario	Holoceno	0.01	Edad del Area de Estudio
			Pleistoceno		
		Terciario	Plioceno	1.8	
			Mioceno	5	
			Oligoceno	24	
			Eoceno	38	
			Paleoceno	55	
				65	
	Mesozoico	Cretácico		144	
		Jurásico		200	
		Triasico		250	
	Paleozoico	Pérmico		285	
		Carbonifero Pensilvanianse		320	
		Misisipiense		360	
		Devónico		410	
		Silúrico		440	
		Ordovícico		505	
Cámbrico			540		
Proterozoico					
Arcaico					

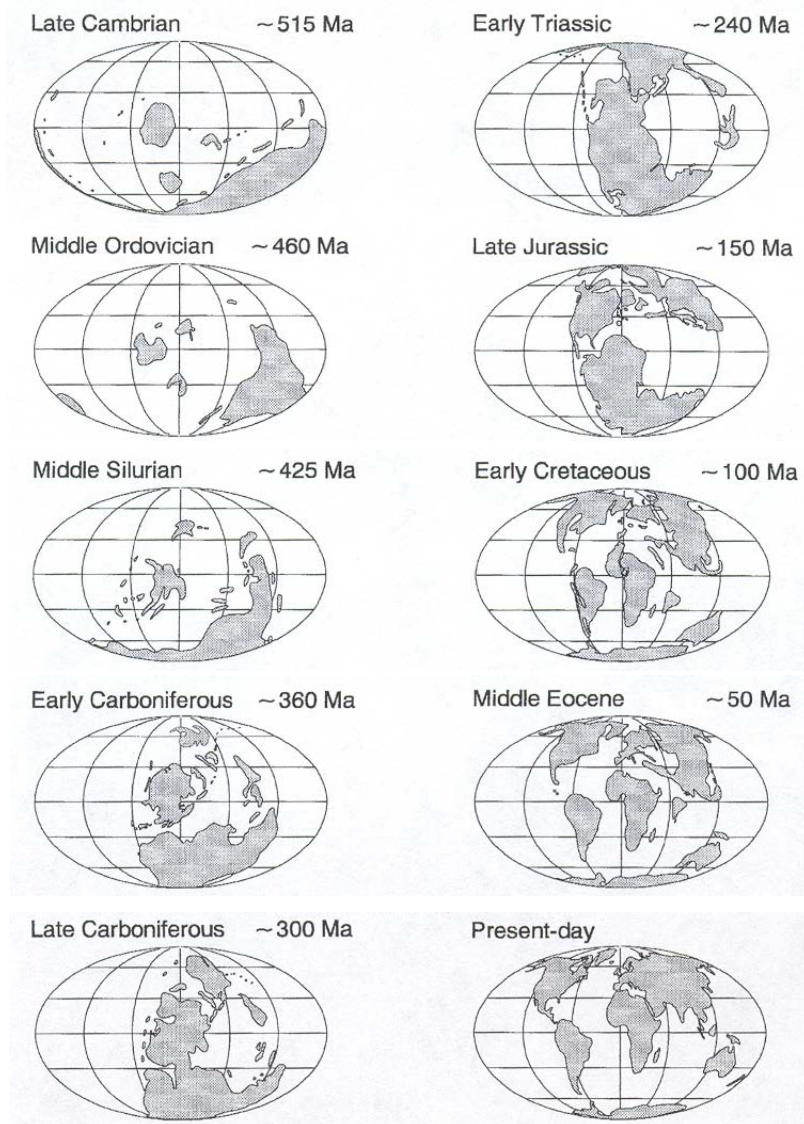
actividades fundamentales para su sobrevivencia, como delimitar su territorio, reproducirse y cazar. Conforme pasa el tiempo, el caracterizar su territorio llega incluso a el grado de crear unidades de longitud, y áreas para marcar distancias o fronteras, adopta la sucesión natural de días y noches para referirse al tiempo, así como también los periodos estacionales anuales que lo obligaron a migrar en busca de alimento. Dejo

marcas en los lugares que le sirvieron de morada para eventualmente regresar a ellas, construyó tumbas, elaboró pinturas, artículos de caza y pesca. Históricamente dio un gran salto cuando desarrolló la escritura y los pensamientos del hombre, quedaron registrados para la posteridad en diferentes materiales.

Para explicar el origen de la tierra ha sido necesario incluso, el estudio del universo, lo que se ha facilitado con la ayuda de nuevos instrumentos y el viaje o estudio a otros planetas, la mejor comunicación entre científicos y los avances de cada uno de ellos (Metcalfé *et al.*, 2000).

La Tierra a partir de su aparición como tal, hasta la fecha ha sufrido diferentes cambios (Nava, 1993), que incluyen: Modificaciones en su morfología (figura 1.1), por el vulcanismo (Rius y Castro 2000) y la tectónica de placas (Michaud, *et al.*, 1989 y Moran, 1986); la caída de meteoritos; velocidad de rotación y de translación; el clima y por supuesto la parte biótica que existe en ella (Montellano, 1997 Morales, 1996 y Jáuregui, 1997). El concepto de tiempo geológico ha sido difícil de comprender, tal vez por los millones de años que tiene de vida el planeta y la juventud del hombre en la misma, en consecuencia, la percepción del tiempo es en escalas diferentes.

Según Espíndola (2000) Hutton en su gran obra *Theory of the Earth*, publicada en 1788, propuso el significado del tiempo geológico y la fundamental diferencia entre las rocas ígneas o primarias y las rocas sedimentarias. Con este trabajo comenzó una nueva interpretación del tiempo geológico que fue fortalecida por Lyell, quien estableció de forma definitiva la idea de que las fuerzas que vemos operando en la naturaleza son capaces, cuando se dan tiempos suficientemente largos, de producir los cambios geológicos que han esculpido la superficie de la Tierra. Esta teoría, que se conoció como uniformitarismo, tiene como lema: "la clave del pasado es el presente", y es en cierto sentido la filosofía esencial de la geología moderna. Para Lyell, el tiempo geológico era tan grande que resultaba indefinible, y cuantificarlo en forma absoluta era prácticamente imposible y hasta irrelevante.



Evolución del continente y océano distribuidos a través de 500 Ma. Después de Scotese (1997)

#### Figura 1.1.- El Eón Fanerozoico (600 Ma)

Se estima que la Tierra tiene 4600 ma, los homínidos ocupan el 13% del tiempo de vida de la tierra. No es posible discutir el cambio climático sobre esta larga escala de tiempo, solo con la apreciación de los últimos cambios en la geografía de la tierra (ejem. la distribución de los continentes y océanos). En esta figura se presenta la secuencia global de mapas mostrando los cambios, iniciados hace 515 ma Modificada de Scotese (1997).

Para Darwin (Rubinovich y Lozano, 1997 y Espíndola 2000), identificado como estudioso de la evolución de la vida. La geología al igual que la evolución de la vida, requería de lapsos muy grandes de tiempo para su explicación

El físico Colmes (Roederer, 1992), hizo profundos estudios de geología y consagró su vida al desarrollo de la geocronología. A él se debe en gran medida el establecimiento de una escala absoluta de tiempo geológico y el desarrollo actual de la geocronología. Su libro *Principles of Physical Geology* es uno de los grandes clásicos de la geología moderna.

Una línea de investigación sobre hechos pasado en la historia de la Tierra ha sido la paleontología (Margalef, 1983), que ha dado información sobre las sucesiones de vida que aparecían registradas en los estratos fosilíferos, mediante estos se ha definido, parte de la historia y el tiempo geológico (Ortega, 1999 y Peti-Maire y Lancen, 1975). Esta línea de investigación se aplica en este trabajo.

En épocas mas recientes (Prol-Ledesma, 2000) la propuesta de la teoría de la deriva continental o tectónica de placas (figura 1.1.), por Wagneer, generó una nutrida controversia que en el mismo siglo pasado, algunos autores refutaban, a pesar del soporte que se le había dado a la misma, como es la morfología de algunas costas, el soporte paleomagnetico, paleontologico y mediciones actuales que indicaban el movimiento actual de las placas entre si (González – Partida y Torres-Rodríguez, 1987; Macdonald y Fox 1990; Maillol *et al.*1997; Michaud *et al.* 1992 y Moran, 1986).

En el mismo orden de ideas la observación de fenómenos naturales (Rubinovich y Lozano, 1997), como lo es lo concerniente al clima (Larousse, 2003), hizo que a fines del siglo pasado algunos naturalistas reconocieran en Europa, a través del estudio de los sedimentos en las márgenes montañosas, que los hielos actuales habían cubierto superficies considerablemente mayores a las actuales. Hoy día sabemos que los cambios climáticos bruscos son un fenómeno natural que se ha producido en toda la historia geológica (Uyeda, 1982). Esto ha provocado las migraciones de flora y fauna, incluyendo a los homínidos, en el periodo Cuaternario, hacia regiones más favorables, y también la extinción de especies (Carranza, 1980) o su adaptación a un ambiente distinto.

Los registros climáticos instrumentados, a nivel mundial, tienen menos de 200 años (Austin, 1975). Por eso, los estudiosos del clima del pasado se han apoyado en diversas fuentes para reconstruir los paleoclimas, con base en los datos históricos, arqueológicos, sedimentos, paleomagnetismo, geocronología, presencia de fósiles de polen, flora y fauna, así como de las propiedades químicas de los glaciares. La composición química molecular del mismo refleja las condiciones climáticas de una época determinada. Se han obtenido muestras de hielo hasta 2 000 m de profundidad, para un pasado estimado de hasta 150 000 años. La mayor cantidad de estudios se han realizado en los polos, Islandia y Nueva Zelanda han aportado datos interesantes desde el siglo pasado en la década de los 70's (Stevens, 1980).

Los geólogos, botánicos, geógrafos, físicos y otros especialistas que se han ocupado en estudiar los climas del pasado (Caballero y Ortega, 1998; Caballero *et al.* 1999; Caballero *et al.* 2006 y Caballero *et al.* 2002), han establecido que en los últimos 80 000 años (Stevens, 1980), como se puede apreciar en las figuras 1.2 y 1.3, han existido variaciones en las temperaturas y hubo periodos más fríos o más calurosos que en la actualidad, con duración de 1 000 a 2 000 años; en otros casos, las fluctuaciones fueron de 100 a 200 años y se pueden fijar hasta de cinco a diez años, los numerosos mamutes bien conservados que se han encontrado en Siberia, aparentemente no tuvieron oportunidad de emigrar a tierras más cálidas durante una de estos periodos fríos, en la figura 1.3, que es un registro del último millón de años, se puede ver el rango de variación de temperatura que en ciertos periodos, fue de hasta 5° C, mientras que en tiempos más recientes, las variaciones solo son de un grado centígrado.

Se infiere que hace seis ó siete mil años (figura 1.2), se produjo un óptimo climático (Stevens, 1980), esto es, considerando la temperatura promedio, señalada en las figuras anteriores, se tuvo un ascenso de temperatura. Posteriormente se han dado alternancias de ascenso y descenso de temperatura, pero con una tendencia general a su descenso. Otros picos de altas temperaturas, pero siempre en descenso progresivo, tuvieron lugar hace 4 000 y 1 500 años, mientras que los puntos más bajos hace 5,000, 2,500 y 300

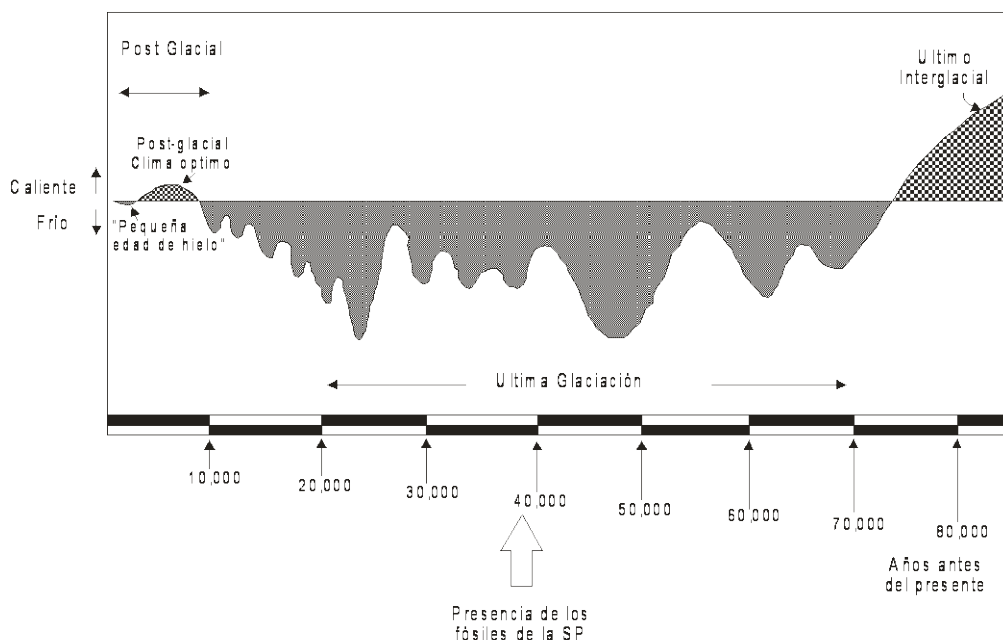


Figura 1.2.- Bosquejo de los cambios climáticos que ocurrieron durante los pasados 85,000 años. La ultima glaciación duro de los 75,000 a los 10,000 años. El grado óptimo postglacial climático, cuando el promedio de las temperaturas mundiales era 1-3 °C (2-5 °F) más alto que el actual. La pequeña edad de hielo, con una fase fría que produjo las temperaturas mas bajas y las mayores extensiones de hielo sobre la tierra y el mar desde las glaciaciones, fue hace aproximadamente 1550 A.C. al 1800 A.C. Tomado de Stevens 1980.

años. La tendencia actual histórica es al calentamiento, pero no duradera, ya que predomina en escalas más grandes la tendencia al enfriamiento (Saltzman, 2002).

Los últimos 10 000 años se ha considerado como un breve lapso de estabilidad climatológica y esto ha condicionado los asentamientos humanos, en zonas climáticas y de relieve más favorables. Como resultado del retroceso de los hielos las tierras habitables se ampliaron y fueron ocupadas gradualmente por vida vegetal y animal. Si bien no se han producido cambios sustanciales, las condiciones de temperatura y precipitación no han sido homogéneas (Saltzman, 2002).

El clima actual (Espíndola, 2000, Austin, 1975, Bifani, 1997 y Larousse, 2003) tiende a transformarse por procesos naturales: la energía proveniente del Sol, de intensidad variable; las variaciones del eje de la Tierra; las potentes emisiones de cenizas, que reducen la penetración de los rayos solares, la emisión de piroclastos a la atmósfera y otras causas posibles (Fastovsky, 1997; Gómez y Mota, 2001; Jáuregui, 1997; Lozano-

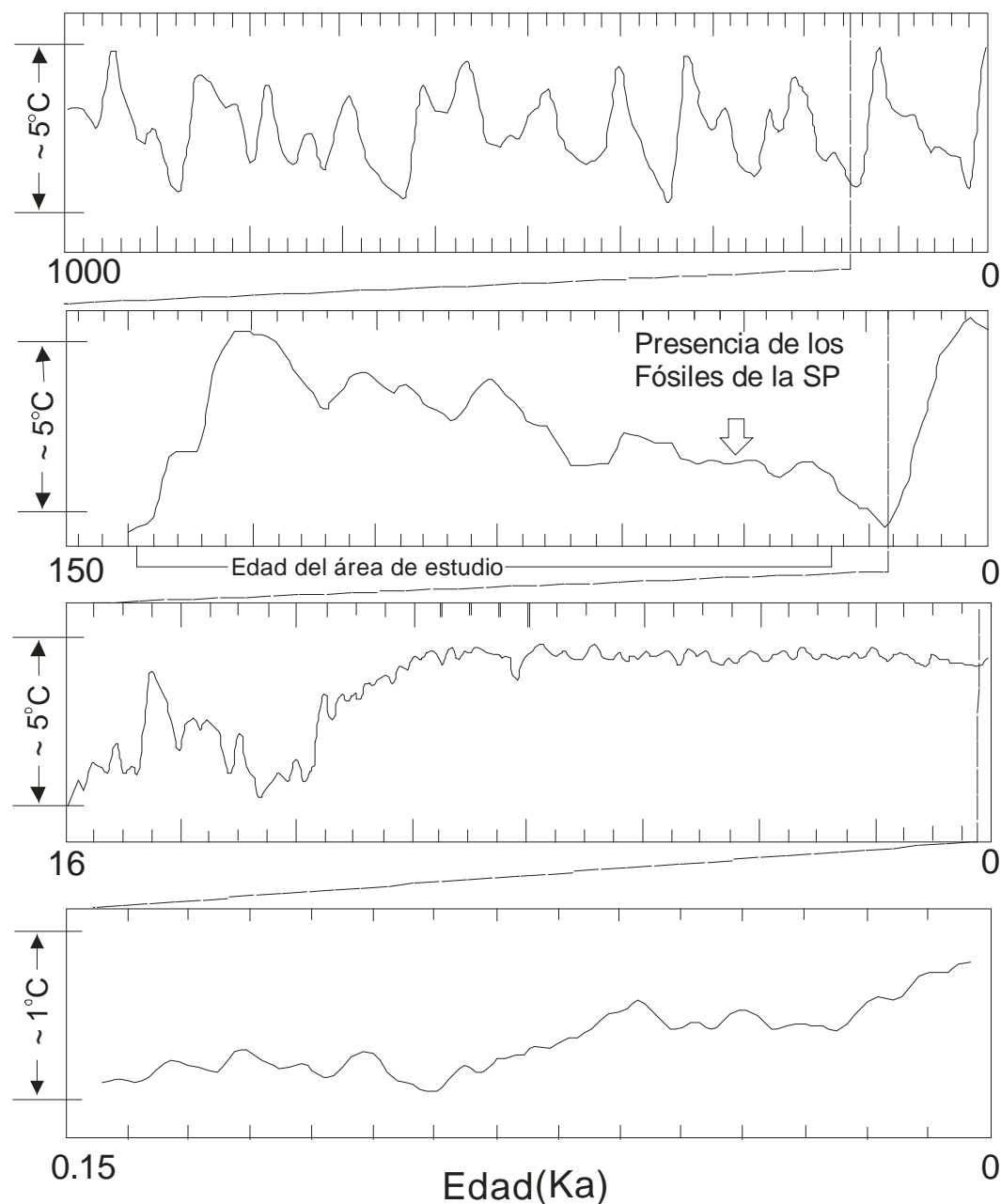


Figura 1.3.- Estimación de la variación de la temperatura en el pasado millón de años, se muestra la ubicación de los fósiles de la SP y el tiempo de formación del área de estudio. Tomado de Saltzman (2002).

García *et al.* 2005; Ruiz-Gutiérrez y Pérez, 1997; Saltzman, 2002; Urrutia-Fucugauchi, 1984. y Uyeda, 1982). Según los anteriores autores en México los glaciares se presentan esencialmente en forma de mantos de poca extensión longitudinal, los mayores cercanos al kilómetro. Laderas abajo de los hielos principales se extienden valles de fondo ancho con sedimentos del tipo que depositan los glaciares. En el pasado no muy lejano, algunos miles de años, los frentes de los hielos actuales se encontraban por abajo de los



4 000 msnm. A diferencia de los mantos actuales, característicos de los glaciares de volcanes, formaban los típicos ríos de hielo. Sus herederos son bien reconocidos en el Iztaccíhuatl, un volcán inactivo. Los conos jóvenes del Citlaltépetl y Popocatepetl han sepultado en gran parte con sus lavas y piroclastos los antiguos relieves glaciáricos.

Esto tiene gran importancia en el contexto mundial porque el conocimiento del periodo Cuaternario requiere del mayor cubrimiento territorial posible. En este tema se ha criticado seriamente las interpolaciones o correlaciones que se hacen de un territorio a otro, incluso entre continentes. El retroceso de los hielos no se produjo en forma homogénea en el mundo y las edades de las glaciaciones de Europa no tienen que coincidir forzosamente con las de Norteamérica.

Los principales estudios sobre los glaciares actuales y antiguos en México a partir de un estudio en el Iztaccíhuatl, reconoció cinco fases de glaciación, la más antigua de hace 300 000 años; la segunda ocurrida entre 198 000 y 132 000 años; la tercera de hace 32 000 a 20 000 años; de hace 16 000 a 10 000 la cuarta y de menos de 5 000 años la última.

En nuestros días con el avance de la tecnología, la especialización de diferentes áreas del conocimiento, los instrumentos desarrollados para laboratorios de geología (petrografía, geocronología, paleomagnetismo, geoquímica, etc.) y ciencias afines, entre los que se consideran además los satélites artificiales, permiten acceder a valiosa información sobre la Tierra y el Sistema Solar (González y Beramendi, 2005, Valdes-Galicia 1992). Con el caudal de información heredada, es factible explicar diferentes procesos geológicos acontecidos o por generarse en nuestro planeta. En consecuencia de igual manera es factible inferir como se han dado algunos de los cambios sobre los ecosistemas y cuales son los cambios que se pueden esperar (Maciel y Amescua, 1998). Actualmente existe un área del conocimiento, que su especialización esta encaminada a estudiar “Cambios Climáticos del Cuaternario” (Metcalfé *et al.* 2000), que trata de eslabonar la mayor parte de los conocimientos asociados a la evolución de los ecosistemas de la tierra (Peti-Maire y Lancen 1975 y Caballero *et al.* 2002), en este periodo de tiempo.

La presente investigación pretende aportar conocimientos en el área de la climatología considerando fenómenos geológicos y se considera es un buen ejemplo de los trabajos que se pueden desarrollar y la factibilidad de interrelación de la información existente de un área con un ecosistema actual estudiado y las condiciones climáticas pretéritas y los cambios geodinámicos y bióticos que se han dado.

### 1.1.- LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La Sierra de La Primavera (SP), se ubica desde el punto de vista geográfico, en la porción occidental - central de la República Mexicana (figura 1.4), en el estado de Jalisco, dentro de los municipios de Tala, Zapopan, Arenal y Tlajomulco de Zuñiga, limitada (INEGI, 1999 y INEGI, 2002) por las coordenadas UTM: 2 295 000 y 2 270 000; 635 000 y 662 500 según datum NAD 27 en un intervalo altitudinal de 1400 a

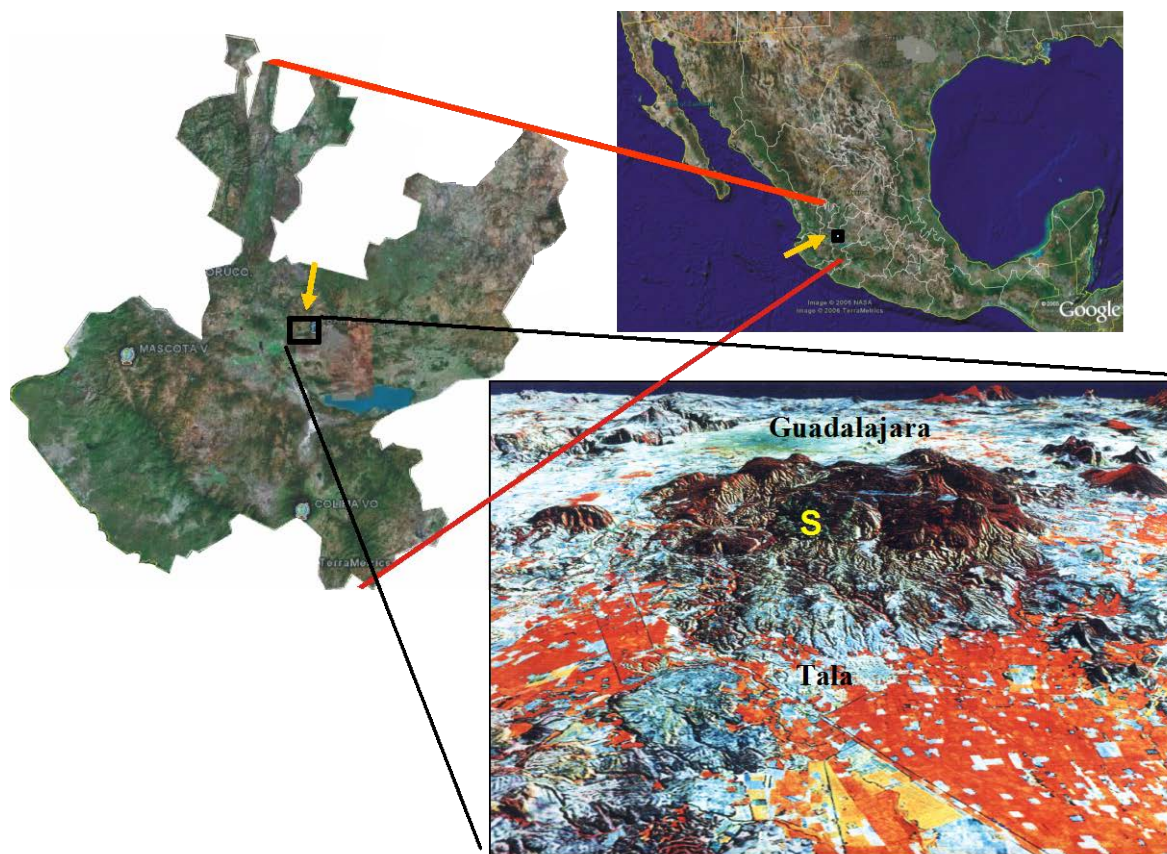


Figura 1.4.- Localización regional de la SP.

2225 msnm aproximadamente, con áreas sensiblemente planas en sus inmediaciones y elevaciones mayores en la parte central de la sierra así como hacia el norte y sur de la misma, desde el punto de vista geomorfológico (figura 1.5), está 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). Es factible de resaltar su morfología en los modelos de elevación digitales sobrepuestos a la imagen de falso color donde destaca la cobertura vegetal presente (figura 1.4). Desde el punto de vista estructural (Maciel, 1981; Maciel y Rosas-Elguera, 2006 y Maillol, *et al.*1997) se localiza en la intersección de tres grandes rifts activos denominados Colima, Chapala y Tepic-Chapala (figura 1.6).



Figura 1.5.- Provincias fisiográficas de la República Mexicana.

Las principales vías de acceso, son a partir de brechas que inician de las carreteras Guadalajara – Tepic, Guadalajara – Colima y Tala – Tlajomulco de Zúñiga y del periférico de la Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG) (INEGI, 1999 y INEGI, 2002 ), carreteras que rodean la SP y en cierta forma funcionan

como barreras a los corredores biológicos naturales, generando una mortandad a los animales que cruzan por estas vías, de igual forma los fraccionamientos que se instalan en sus inmediaciones, afecta la calidad del ecosistema presente en esta localidad.

Esta sierra tiene su relevancia biológica dado que se ubica en la intersección de zonas bióticas importantes como son: el corredor formado por el Río Grande de Santiago (RGS) y la SMO que finalmente provoca la confluencia de dos grandes reinos que son el Neártico y el Neotropical (Lozano-García *et al.* 2005, Maciel y Amescua, 1998, Carranza, 1980 y Reyna, 2004). Esta localidad cuenta con un decreto federal a partir de 1980, que asigna protección a la Flora y Fauna, (Universidad de Guadalajara 1994 y

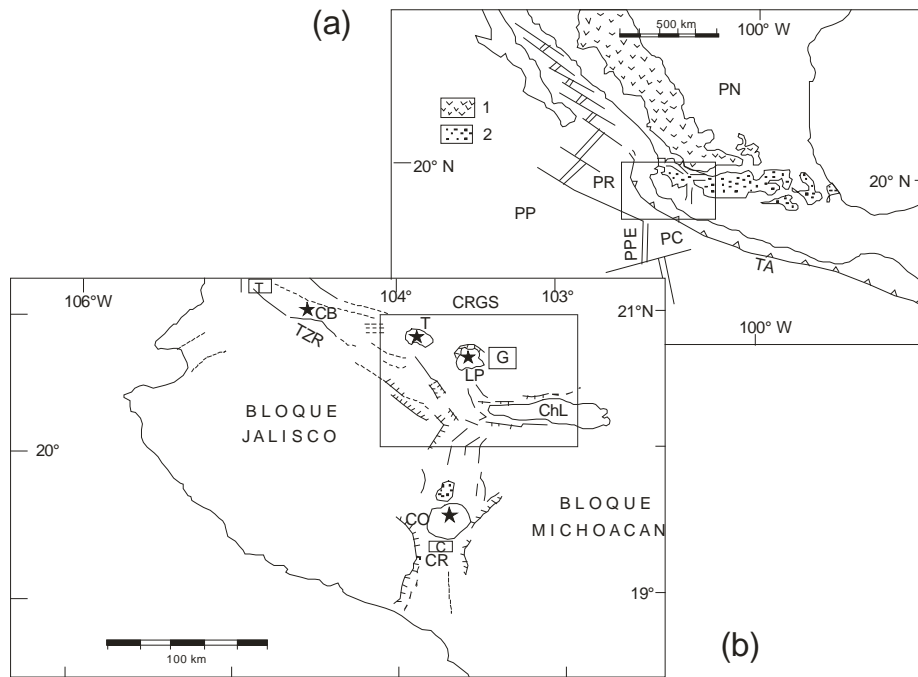


Figura 1.6.- a) Principales provincias fisiográficas del centro de México y el área de estudio. Placa Norteamericana (PN), Placa del Pacífico (PP), Placa de Rivera (PR), Placa de Cocos (PC), Placa del Pacífico Este (PPE), Trincheras Americanas (TA), 1. Sierra Madre Occidental 2. Sierra Volcánica Transmexicana b) Bosquejo tectónico simplificado del bloque Jalisco y localización de los grabens. Los cuadros abiertos representan las principales ciudades (G-Guadalajara, C-Colima, T-Tepic) y las estrellas representan los principales volcanes (CO-Colima, LP- La Primavera, T-Tequila, CB-Ceboruco); Ch- Lago de Chapala, CRGS- Cañón de Río Grande de Santiago, CR- Graben de Colima, GTZ- Graben Tepic-Zacoalco (Tomado de Alatorre 1992).

SEMARNAT., 2000). Desde un punto de vista económico (Bifani, 1997 y Costanza, 1991) la zona cuenta con: Recursos hidrológicos, dado que la sierra es el parteaguas de tres cuencas hidrológicas (INEGI 1981) y recarga de los acuíferos de la región (INEGI 2000; vegetación y fauna (Reyna 2005); edáficos (Gama-Castro *et al.* 1990); geotérmicos (Maciel y Rosas 1992); rocas de interés comercial como lo es la tefra ácida de gran tamaño comúnmente denominada “pómez”, usada comúnmente en la construcción, de ornato y en la industria del vestir (COREMI 2000); considerando el paisaje, la SP cuenta con localidades únicas.

Para algunos habitantes de la ZMG, la SP, es un símbolo de identificación ambiental, al igual que la barranca del RGS, la diferencia substancial, es que la primera tiene un decreto federal de protección ambiental y la segunda solo cuenta con un decreto parcial

de carácter municipal (Universidad de Guadalajara 1994 y 2006 y SEMARNAT, 2000), en la primera con grandes esfuerzos se ha logrado conservar su flora y fauna, mientras que en la segunda existe una gran depredación y contaminación y la propuesta de construcción de una presa, que eliminará este ecosistema.

## **1.2.- ANTECEDENTES**

Sobre la SP se ha generado bastante información sobre el medio físico actual, por parte de la Universidad de Guadalajara (UdeG) y otras Universidades nacionales e incluso extranjeras, así como de instituciones como lo son Petróleos Mexicanos (PEMEX) (Maciel 2000), La Secretaría del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP), la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), La Secretaría del Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable (SEMADES), la Comisión Federal de Electricidad (CFE) (Maciel y Rosas 1992), el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) quien generó la cartografía base de esta zona y en general de casi toda la Republica Mexicana, en especial la carta geológica 1:50,00 que no es muy buena, dado que incluso le falta lo fundamental que es asignar tiempo a las unidades litológicas, omisión que no se hace en la carta geológica 1:250,000 que es mejor que la presentada en la carta 1:50,000, y el Consejo de Recursos Minerales (COREMI) quien realizó la cartografía geológica regional mas actualizada. En consecuencia se han escrito diversas publicaciones, como son: Libros y reportes de carácter periodísticos; Reportes científicos; Tesis a nivel licenciatura, maestría y doctorado, así como documentos legales, como lo es el decreto de área natural protegida. Además se tienen otros reportes inéditos aún de esta región.

El interés despertado por la SP, son sus recursos naturales como los geotérmicos (Alatorre-Zamora, 1992; Maciel y Rosas 1992). Desde el punto de vista geológico es la composición riolítica que permitió la presencia de obsidiana, que fue de gran interés en los tiempos históricos del hombre ya que fue una herramienta de corte y caza que se comercializó con otros grupos indígenas. Otro punto de interés es su juventud geológica,

lo que ha permitido la presencia de un recurso geotérmico a diferentes profundidades y temperaturas en el subsuelo, así como la presencia de fumarolas y manantiales termales que son aprovechados como centros recreativos en sus inmediaciones, la formación de varios centros eruptivos que en conjunto forman la SP, ha generado una serie continua de depósitos de tefras que permite estudiar los cambios ocurridos en la misma, usando la técnicas de tefracronología, tal vez uno de los elementos mas relevantes es el paisaje existente dentro de la sierra, lo que durante años ha propiciado la pujanza por parte de urbanistas para crear fraccionamientos dentro de ella (Universidad de Guadalajara 1994).

De los estudios publicados destacan los realizados en el área de geología por: Rosas *et al.* (1996), Rosas *et al.* (1996), Rosas *et al.* (1993), Michaud *et al.* (1989), Michaud *et al.* (1992), Maillol *et al.* (1997), Ferriz y Mahood (1986), Ferrari y Rosas (2000), el más completo es el presentado por Mahood (1980), que es la tesis doctoral “The Geological and Chemical Evolution of Late Pleistocene Rhyolitic Center: The Sierra La Primavera; Jalisco”; México. Este ultimo describe las principales unidades litológicas entre las cuales se menciona la presencia de sedimentos lacustres, sin hacer mayor detalle sobre espesores, su rumbo y echado, o bien si describir si existe plegamientos en los mismos, tampoco se detalla si presentan algún tipo de fósiles. Existe por otra parte información generada por Maciel 1992, 1997, 1998, 1999, 2000, 2002a y 2002b, su relevancia es que dejan información sobre la geología superficial y subterránea de la localidad, que se correlaciono con estudios geofísicos y geoquímicos (Kruger *et al.* 1988), que permiten conocer la estratigrafía hasta los 3 km de profundidad, estos estudios mencionados no obstante proveen poca información sobre la edad de los estratos más recientes, que son los mas estudiados en esta investigación y la correlación con los CCG.

De los estudios paleontológicos elaborados en la zona, destacan las realizadas por Carranza (1980), Montellano (1997), Maciel (1998) y Amezcua (2000), los cuales presentan los primeros avances sobre clasificación de fósiles encontrados en la SP, aún cuando en su oportunidad no se mandaron a laboratorio para obtener su edad, ni se ubicaron todos los existentes en la SP. Los fósiles (Maciel 1998), son fragmentos de

árboles, como ramas, conos y acículas, bien conservadas, los cuales son restos del bosque antecesor al actual. Además hay algunos pastos poco conservados y difíciles de clasificar. Este es un atractivo más desde el punto de vista académico y científico, para desarrollar actividades tendientes a determinar que tipo de especies existieron, su evolución y como fueron afectadas por la evolución geológica y climática.

En la zona se han realizado estudios sobre geología regional (Maciel y Rosas, 2006, Venegas *et al.* 1985) paleontología (Maciel y Amezcua 1998 y Amezcua 2000), estrato - tectónica y geología del subsuelo (Maciel y Rosas 2002). Ha sido necesario estudiar la morfología de la sierra y con ayuda de los sistemas de posicionamiento global hacer la georeferencia de las localidades de interés y dedicar tiempo para localizar, extraer, clasificar y preservar los fósiles encontrados, para con los resultados de estas investigaciones deducir la historia geológica durante el Pleistoceno.

De los proyectos institucionales efectuados en la zona, destaca el realizado por la Universidad de Guadalajara (1994) que es el único que consideró la participación de diferentes disciplinas y cubrió la totalidad de la SP, PEMEX (1999) estudio parcialmente la zona cuando pretendió construir un ducto a través de la sierra y CFE (1990) quien trabajo en la zona desde 1980 y sus estudios solo incluyen la parte central de la SP, Planillas y Río Caliente y ha sido el único que desarrollo la exploración directa con trece pozos profundos, lo que generó información del subsuelo, como la que se presenta en la figura 1.7 del pozo PR-9 que tiene 3 kilómetros de profundidad (Maciel y Rosas 1992). De algunos de los estratos cortados por estos pozos, se sacaron núcleos y de estos tres de ellos, se tiene su edad, la cual se muestra en la misma figura.

Desde el punto de vista biológico, como ya se menciono anteriormente (UdG 1994), su peculiar ecosistema, propició que se le declarara como un Área Natural Protegida (ANP). La dirección de esta ANP creo la pagina web del Bosque de la Primavera y en la misma esta disponible información que se ha generado por diversos especialistas, de esta y de otras fuentes como es el libro publicado por Reyna (2005), se obtuvo el listado de los árboles registrados en la SP, esta se comparo con las ultimas publicaciones



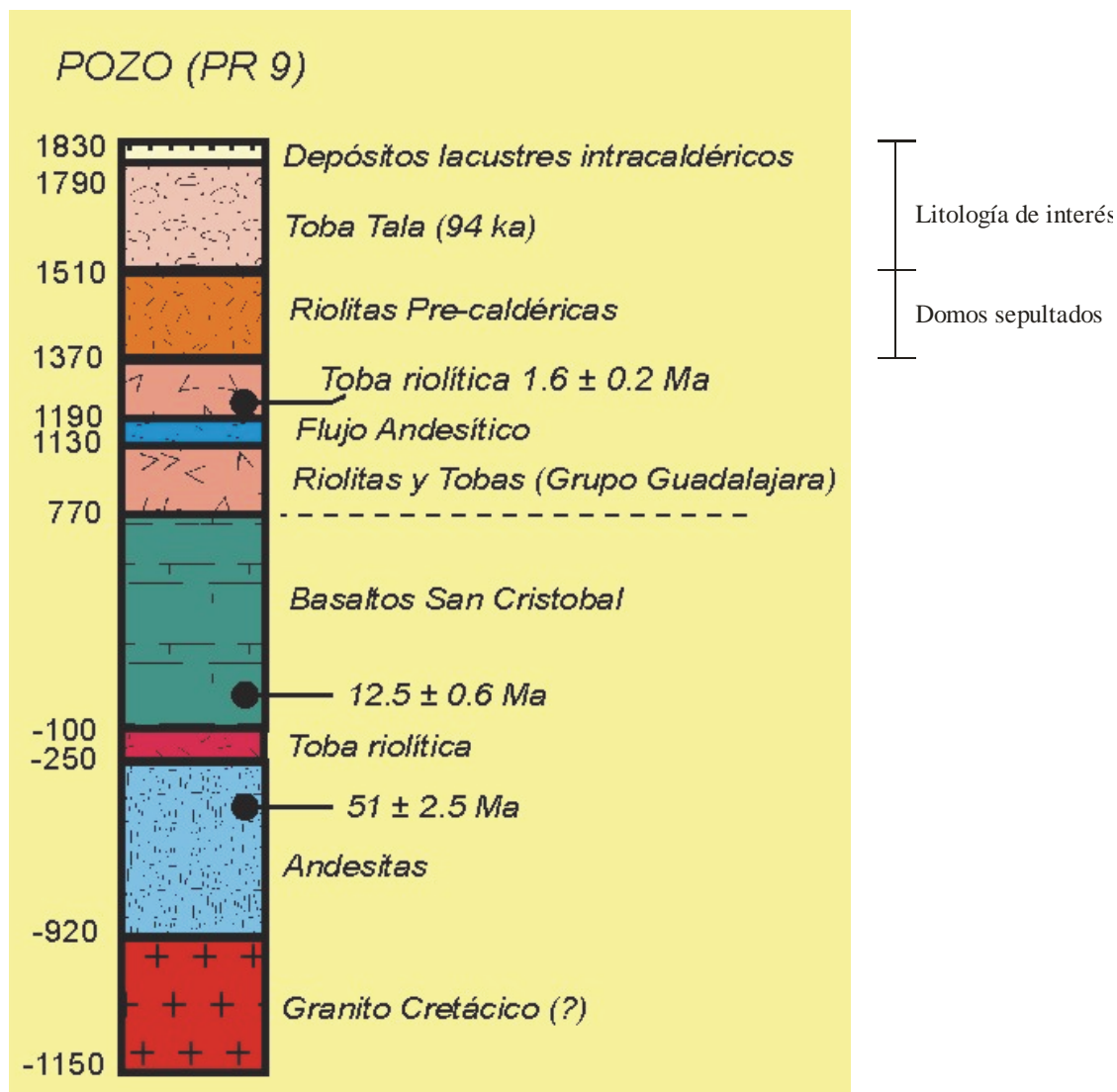


Figura 1.7.- Litología y edades reportadas en el PR 9.

presentadas en las memorias del I Foro de Investigación y Conservación del “Bosque La Primavera” celebrada en la Universidad de Guadalajara (2005), en la que se trato con mayor énfasis la parte biótica existen en la misma.

Considerando los Cambios Climáticos Globales (CCG), en la región no se han desarrollado trabajos regionales sobre el efecto de estos en los ecosistemas. Para tener los fundamentos sobre este tema y hacer una integración de la historia geológica, considerando los CCG, se consulto a especialistas de la UdG y una serie de libros, destacando el titulado Dynamical Paleoclimatology escrito por Saltzman (2002), quien describe una teoría generalizada sobre el cambio climático global y da un panorama general



de los estudios y técnicas de reconstrucción de paleoclimas desarrollados a su vez por otros autores especialistas en el tema, quienes han publicado en diferentes épocas sobre el tema, también se consultaron estudios sobre paleoambientes de lagos en México, quienes utilizan solo algunas de las técnicas definidas por Saltzman, pero que de igual forma aportan datos interesantes sobre el paleoclima en diferentes tiempos geológicos, entre los más destacados son los desarrollados por Caballero y Ortega (1998), Caballero *et al.* (1999), Caballero *et al.* (2002), Caballero *et al.* (2006), Metcalfe *et al.* (2000), Lozano-García *et al.* (2005) y Ortega *et al.* (1999), los cuales han determinado las condiciones ambientales en la región central de México, donde se realizaron las investigaciones citadas.

Actualmente se resiente un calentamiento global, causado principalmente por el uso de combustibles fósiles, lo cual es una actividad antropica que genera alteraciones climáticas diferentes a las que en esta investigación se analizan, es necesario mencionar que el CCG y el calentamiento global son dos cosas diferentes y en este proyecto solo se consideran los CCG antes de que el hombre realizara actividades tan impactantes sobre la Tierra.

Finalmente en forma regional, según la Biogeografía de América Latina y el Caribe, citada por Morrone (2005), se propone un nuevo esquema biogeográfico para América Latina y el Caribe. En tres regiones denominadas Neartica, Neotropical y Andina, se definen ocho subregiones y 70 provincias. Jalisco y en especial el área de estudio se ubica en las dos primeras regiones y dentro de las subregiones denominadas FVM y en los límites de la SMO.

### **1.3.- DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.**

Existen en cuatro estratos, dentro de la sierra, elementos fósiles, consistentes en restos de árboles, los que no se han considerado para obtener información sobre su edad, clasificación y de la misma manera correlacionar estos con el paleoambiente que debió

existir cuando vivía el bosque que generó los fósiles, tampoco se ha hecho estudios concretos de los sedimentos lacustres, ni de sus particularidades como espesor, rumbos, echados, edad, tampoco la extensión del lago dentro de la sierra.

Existe información sobre el medio físico actual, de la SP la cual puede usarse para hacer comparaciones con los restos de la antigua vegetación encontrada.

De igual manera falta generar información sobre:

- La geodinámica de esta sierra para determinar cuando se formó y porque desapareció el lago;
- Las condiciones climáticas que existieron cuando las especies de pinos hoy fósiles, vivieron;
- La edad de los fósiles;
- Su clasificación;
- Definir cuanto y hacia donde se ha movido la frontera de la vegetación.

## **1.4.- JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS**

### **1.4.1.- Justificación**

Durante la formación y evolución de la Sierra de La Primavera se desarrolló una serie de domos, al menos una caldera (figura 1.8) y dentro de ella un lago, en el que se depositaron sedimentos lacustres, en ellos existen fósiles de partes de pinos. Las características morfológicas del lago y las condiciones, ambientales de la sierra se desconocen, pero en base al estudio de especies de árboles similares a los fósiles encontrados, se puede inferir el ambiente que existió.

El interés por el estudio de los lagos es que los sedimentos guardan un registro sistemático y detallado de su evolución. Poco se conoce de los vasos lacustres en el occidente de México. El estudio del paleo-lago de La Primavera puede indicarnos las

condiciones climáticas de la vegetación que existió en un lapso de tiempo específico y la importancia del estudio de fósiles es que son indicadores de ambientes, lo cual es un

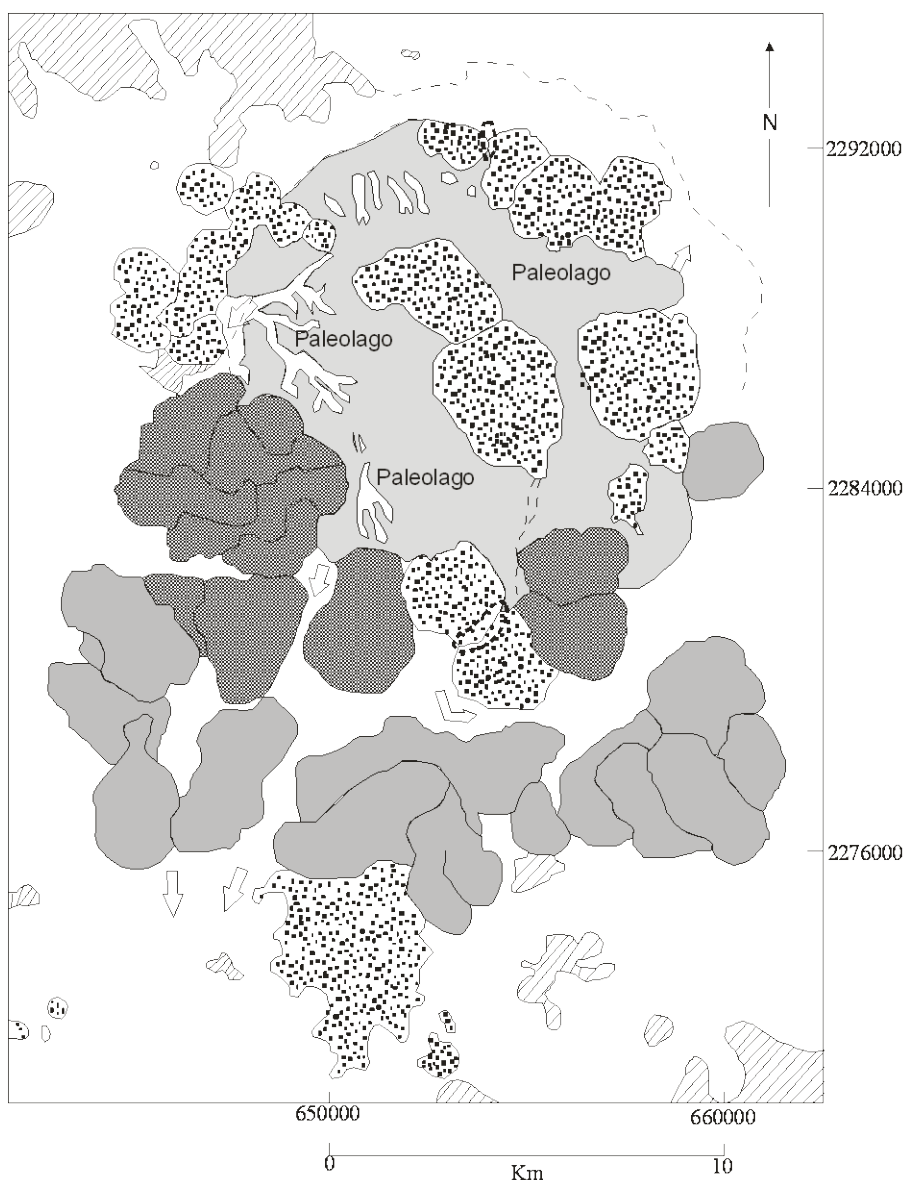


Figura 1.8.- Cartografía del Lago de la SP, modificado de Mahood (1980).

objetivo del presente estudio. El paleo-lago desarrollado en el bosque de La Primavera es un excelente caso de estudio para documentar la manera en que la evolución geológica impacta ambientalmente en las condiciones locales (en el lago mismo).

La reconstrucción de la historia geológica de esta sierra, es interesante en función de la aportación que se genera para conocer las condiciones paleo ambientales que

prevalecieron durante el Cuaternario en esta región de México, inferir como han cambiado y que evolución se puede esperar. El ecosistema formado posterior a la edificación de la sierra, aparentemente se modificó también hasta formar el que actualmente tenemos, en función de los CCG y la evolución geológica.

## **1.4.2.- OBJETIVOS**

### **1.4.2.1.- GENERAL**

Reconstruir las condiciones paleo-ambientales del bosque y paleo-lago de la Sierra La Primavera durante el Pleistoceno.

### **1.4.2.2.- PARTICULARES**

- Definir, los parámetros de tolerancia a cambios climáticos de las especies de los pinos fósiles.
- Obtener edades de los fósiles por medio del método de  $^{14}\text{C}$ .
- Determinar la posición estratigráfica de los fósiles.
- Reconstruir la historia geológica de la SP.
- Ubicar la posición actual de la frontera de la vegetación con estas especies.

## **1.5.- HIPÓTESIS**

Los CCG registrados en el Cuaternario así como la geodinámica asociada con la formación y evolución geológica de la SP, contribuyeron a la modificación de las condiciones propicias para la subsistencia o evolución de un lago y de un bosque de pino.

La geodinámica de la sierra ha modificado:

- a) Pendientes;

- b) Patrón hidrológico;
- c) Tipo de suelo;
- d) Movimiento de masas y
- e) Microclima (temperatura y humedad).

Lo que condicionó la permanencia del lago y la sobrevivencia de algunas especies del bosque de pino existente en la localidad.

La evolución geológica de la SP favoreció la creación, modificación y desaparición de un lago. Paralelamente a ello y con la participación de los CCG el bosque de pino desarrollado en la rivera del lago sufrió modificaciones hasta la eventual desaparición de las especies originalmente desarrolladas en el.

## **2.- MÉTODOS**

Para llevar a cabo el presente proyecto fue necesario, realizar actividades de gabinete, previas a la salida de campo, para recopilar y analizar la información existente o generada por investigadores que hubiesen trabajado en el área y sobre el tema que se trata, así como consulta con especialistas. A partir de estas actividades y en función de los objetivos del proyecto se definió que era necesaria ir a campo conjunto con otros especialistas para: recorrer la mayor cantidad posible de arroyos, donde se pueda observar la secuencia estratigráfica; realizar trabajos de tefracronología; recolectar la mayor cantidad de fósiles posible haciendo su descripción previa y tomando su georeferencia; elaborar las secciones estratigráficas correspondientes; tomar datos de estructuras e inclinación de los estratos (Ministerio de Obras Publicas y Transportes. 1992). Posteriormente se regreso a gabinete para integrar toda la información y estudiar o preparar las muestras recolectadas en campo, sobre todo los fósiles para enviar al laboratorio para la obtención de su edad mediante el método de  $^{14}\text{C}$  y un nuevo método que es el de centelleo liquido (González y Beramendi, 2005) el cual contempla parámetros que el primer método no hace y en consecuencia se obtiene una edad con mayor exactitud. La última etapa de gabinete fue la redacción del informe final y su discusión con especialistas.

La descripción del medio físico que es el capítulo 3, fue en función de realizar previamente las actividades que a continuación se describe en forma general.

### **2.1.- Recopilación e integración de la información existente.**

Considerando que la SP es un área natural protegida (Universidad de Guadalajara 1994), existe información sobre el medio físico, principalmente sobre la parte biótica, flora y fauna y en menor medida, sobre el suelo, la hidrología, la geología, el aspecto climatológico y finalmente el aire. La información recopilada incluye la consulta de información en revistas especializadas, consulta de tesis a nivel licenciatura, maestría y doctorado, revisión de memorias de congresos, de las cuales la mas reciente fue la presentada en el Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, información disponible en Internet,

una fuente importante para este trabajo fue la consulta directa con especialistas, los cuales además proporcionaron un listado de las especies de pino y encino existente en la zona, la cual es incluida en el capítulo 3.

Otra información especializada fue la recopilación sobre el tópico de clima (Saltzman, 2002; Villalpando y García, 1993; Margalef 1983; Larousse., 2003; Jáuregui, 1997; Gómez y Mota, 2001 y Austin, 1975), a partir de sus lecturas es posible definir que existen tres tendencias de los investigadores sobre este tema, uno que analiza las condiciones climatológicas y las modificaciones que se han dado en la mayor parte de la historia geológica de la Tierra, lo cual concuerda con los objetivos del proyecto, otros que se han enfocado solo sobre las variaciones ocurridas en el Cuaternario, que es del periodo del que se tiene mayor información en comparación con toda la historia geológica de la Tierra y finalmente aquellos que solo estudian el clima, a partir de la implementación de instrumentos e incluso existen algunos que en el pasado siglo ponían en duda la relevancia del aspecto geológico sobre del clima.

Considerando que la SP se desarrollo en el Pleistoceno, solo nos referiremos a los estudios sobre CCG realizados durante el Cuaternario. De igual manera existe un grupo de investigadores que está estudiado la variación de la frontera de la vegetación asociados a estos cambios, sobre todo en el continente americano y en el Cuaternario, estas investigaciones se toman como referencia para definir si las conclusiones que se tienen de este trabajo coinciden con otros realizados a nivel regional (Caballero *et al.* 2002; Gómez y Mota, 2001; Jáuregui, 1997; Maciel y Amescua, 1998; Ortiz, 1993; Saltzman, 2002 y Villalpando y García, 1993).

Según Faustovsky (1997), los estudios paleoclimáticos, revelan grandes cambios climáticos en la Tierra, la cual, la mayor parte de su superficie una vez estuvo cubierta de hielo definiendo épocas glaciares y otras no presento casquetes polares y su clima fue cálido y uniforme como en la época hacia el fin de la era de los dinosaurios.

De igual forma se consulto algunos textos clásicos como lo es el libro de Limnología de Margalef (1983), que aún cuando es del siglo pasado, siguen vigentes algunas de las definiciones vertidas, sobre todo en el caso de paleolimnología y tipos de lagos. Otro texto interesante que se consulto es el relacionado a Vegetación y Cambios Climáticos de Gómez y Mota (2001), el cual presenta un artículo interesante, sobre “Variaciones Espaciales en la Distribución de la Vegetación como Respuesta a los Cambios Climáticos Globales, a partir del Último Máximo Glaciar, en la Serra Dos Ancares (NW Ibérico)”.

Información sobre la metodología usada para la reconstrucción paleoclimática, la georeferencia de localidades de interés, tefracronología, sismología y geología se presentan a continuación.

### **2.1.1.- Fundamentos de la Climatología.**

Según Austin (1975), la clasificación actual de climas, se agrupan en: a) Ecuatoriales; b) Tropicales; c) Tropicales monzonicos; d) Templados calidos de las costas occidentales; e) Templados calidos de las costas orientales; f) Templados fríos; g) Fríos; h) Polares; i) Desérticos y j) De montaña. Esto a partir de observaciones sobre temperatura, lluvia, humedad y luz solar en por lo menos 35 años y de considerar la naturaleza del relieve y la vegetación. Sin embargo no habla sobre los posibles climas que pudieron existir cuando la temperatura fue mayor o menor a la actual.

Factores y elementos del clima actual.

Los especialistas como Austin, definen el clima por cierto número de elementos o puntos componentes, tales como temperatura, humedad del aire, lluvia, velocidad del viento, duración de la exposición al Sol. Estos elementos son resultantes de la acción reciproca de diversos factores o causas determinantes, como por ejemplo, la latitud, altitud, dirección del viento, distancia al mar, relieve, naturaleza del suelo, vegetación, duración del día, etc.



Los factores del clima los agrupa en dos clases; primero, aquellos matemáticamente constantes y factores variables o inciertas, entre ellos tenemos la latitud, factor que determina la duración del día, en las diversas épocas del año, también determina la duración del día en las diferentes épocas del año, así como la intensidad de la insolación que junto con la duración del día influye en la temperatura, elemento que también está influido por otros factores, el segundo grupo, incluye los vientos predominantes, la influencia marina etc. Las corrientes marinas proporcionan un ejemplo de otro grupo de factores variables que ejercen influencias fluctuantes en la temperatura, lluvia y recepción de luz solar en las costas adyacentes.

Los elementos del clima están asociados principalmente a la radiación solar. Está, se compone de rayos de tres clases, diferenciadas por sus respectivas longitudes de onda; rayos caloríficos, rayos luminosos y rayos actínicos. Asociada a la radiación se considera:

Las ramas de la climatología han aportado diferentes informes sobre los estudios del cambio climático. Las ciencias que han suministrado en forma continua información son la geología, botánica, zoología, antropología, meteorología, astronomía y otras afines, basándose en distintas pruebas y teorías como son: Cambios de climas en distintas épocas geológicas; Cambio en tiempos históricos; Teoría de Crull; Teoría de Dravson; Teoría de Tyndall, Chamburlain, Humphrey, French y otros; Ciclo basado en las manchas solares; Ciclo de Bruckner; Teorías de Kruichgaver y Wegener; Relieve y glaciación; Continentalidad y cambios climáticos (Ramsay) y finalmente tomando en cuenta la hipótesis de la variación sobre la temperatura básica.

Austin (1973) en su momento ya consideraba la evolución del clima, considerando

- 1) Climas geológicos suaves;
- 2) Causas de la suavidad del clima;
- 3) Climas glaciares;
- 4) Crisis en la evolución de la flora y fauna;
- 5) Frecuencia de la glaciación;

- 6) Climas terciarios;
- 7) Periodos glaciares e interglaciares y
- 8) Causas de los periodos interglaciares.

Un elemento de gran interés es que según Austin (1973) define en su libro en base a sus observaciones y otros estudios que el cambio en el nivel del mar asociado a CCG ha sido hasta por 120 m.

Resultado interesante después de consultar las bases para definir el clima de una región, estudiar el libro “Agroclimatología del Estado de Jalisco de Villalpando y García (1993), en donde es factible apreciar la aplicación de los datos climatológicos, para la preparación de mapas, que aún cuando tienen una función agroclimatológica, representan la variación factible de encontrar en una región determinada y el rango de tolerancia de la vegetación que puede sobrevivir en un espacio definido.

Consultando a otros autores quienes ya han escrito en este siglo, podemos ver las diferencias en el avance de los parámetros que consideran para evaluar el clima y el paleoclima, uno de ellos es Saltzman (2002), quien considera en principio las fuerzas externas que pueden afectar el clima del planeta, las cuales las agrupa en dos principales grupos que son:

- 1) Aquellas de una naturaleza astronómica o cósmica, controlada mayormente por los procesos que involucran en el mantenimiento y evolución del sistema solar y mas allá.
- 2) Aquellas de una naturaleza tectónica que involucra fuentes de energía dentro de la parte sólida de la Tierra.

### **2.1.2.-Técnicas para la reconstrucción paleo climática.**

Considerando las condiciones de la zona de estudio y los materiales identificados, además de la metodología para la reconstrucción paleoclimática en este trabajo se utilizaron algunas de las técnicas recomendadas por Saltzman (2002), además de la evidencia geomorfológica superficial, a continuación se cita algunos de estos y las usadas para este estudio.

### **1.- Métodos históricos** que se describen a continuación:

Mediciones Directas Cuantitativas. Esta técnica es poco aplicable para nuestro caso, dado que se tiene poca información histórica al respecto.

Informe Descriptivo de las Condiciones Ambientales Generales. Igualmente esta técnica es poco aplicable.

**2.- Procuración de Evidencia Biogeológicas Superficial.** Este es uno de los métodos aquí aplicados, consiste en que en forma indirecta o por evidencias de la información geológica y biológica, se puede inferir las condiciones climáticas que prevalecieron hace miles de años antes que el hombre apareciera, dentro de estas técnicas se pueden considerar a: Las evidencias de las formas de vida que se registran anualmente, como pueden ser los anillos de los corales y de árboles. Evidencias geomorfológicas superficiales, que pueden ser variaciones en los niveles de los lagos, del mar, formaciones de arena y su movimiento, huellas de hielo o glaciales. Dentro de esta técnica se define que puede ser en forma especializante las siguientes subtécnicas.

Capas Anuales de Diferentes Formas de Vida. La concha de algunos moluscos, pueden proporcionar información al respecto. Saltzman (2002), refiere que algunos moluscos revelan ciclos de crecimiento anuales y diarios. Por lo que cuando fósiles de estas especies aparecen en estratos antiguos, es factible saber cuantos días componían un año, el mismo autor revela que hace 400 ma, 400 días equivalían a un año, lo que implica que el movimiento de translación de la Tierra pudo haber sido mas lento que en la actualidad o tal vez la orbita mas amplia que en la actualidad, esto es una de las variables que es necesario considerar en la caracterización del paleoambiente de cualquier localidad que se estudie.

Evidencia Geomorfológica Superficial. Las evidencias geomorfológicas superficiales consideradas durante la reconstrucción del paleo clima y son:

- 1) La línea de lagos y sus pisos como evidencia de las pasadas condiciones hidrológicas regionales, que es el caso, en esta área de estudio.
- 2) Suelo y arena depositada, como evidencia de las condiciones erosivas y la presencia de biomasa y características hidrológicas en la cuenca, lo cual también es aplicable para este estudio de caso.

**3.- Análisis estratigráfico convencional no isotópico de hielo y rocas sedimentarias.** En el caso del cráter de la Isla Isabel, cráter de Santa María del Oro, Río Grande de Santiago y de la SP se puede revelar el nivel de depósito anual o estacional. Debido a que las capas de sedimentos pueden permanecer durante miles de años, estas también pueden contener información importante sobre las características físicas y químicas del mismo. A continuación se enuncia algunas técnicas convencionales para determinar la información climatológica en secuencias estratigráficas.

Indicadores Físicos. El tipo de roca depositada es el primer indicador del tipo de clima existente, en el caso de la SP existe la intercalación de tefras de caída aérea y sedimentos lacustres.

Indicadores Paleo biológicos. Esto se refiere a determinar los fósiles de flora (Maciel 1988) y fauna (no encontrada) y su abundancia.

**4.- Fechamiento de eventos.** Geocronometría de las unidades más importantes, recopiladas de estudios previos y envió de muestras de fósiles a dos laboratorios, uno en México y otro en Estados Unidos de Norteamérica, para obtener nuevas edades, se consideró en esta investigación.

Información muy clara sobre las edades de hielo en el pasado, fueron obtenidas en el libro *New Zealand Adrift*, Stevens (1980) quien hace una recopilación histórica y geológica sobre el movimiento del hielo en diferentes periodos, algunas de sus datos son usados para fundamentar nuestro trabajo.

### 2.1.3.- Paleomagnetismo.

Todas las rocas tienen propiedades magnéticas (Maciel 1981b), y la tendencia de un espécimen de roca es funcionar como un magneto (Roederer, 1992 y Tagüena, 2000), con un polo norte y otro sur así como tener un eje magnético, lo cual es similar a lo que sucede en conjunto con la Tierra. En las rocas la magnetización es una propiedad natural que tienen estas y es referida como un magnetismo fósil o magnetismo natural remanente. En la Tierra este magnetismo es cambiante, de tal manera que en ocasiones el polo norte magnético ha estado en el polo sur geográfico o bien en un punto intermedio denominándose a este, excursiones magnéticas.

La gran mayoría de observaciones de paleomagnetismo han sido publicadas desde 1930 y particularmente desde 1950 (Maciel 1981b). En los principios del siglo XX Bernard Brunhes, un físico francés, accidentalmente descubrió que el magnetismo remanente de un flujo de lava en el centro de Francia, era exactamente opuesto a el campo magnético actual, esto es los polos magnéticos estaban invertidos, pero este fenómeno permaneció sin explicación. Posteriormente un geofísico japonés M. Matuyama, encontró que muchas de las rocas volcánicas pleistocénicas fueron magnetizadas en forma inversa. De esta forma muchos de los eventos paleomagnéticos encontrados han sido bautizados con los nombres de los científicos que han contribuido a su estudio, por lo que la época normal que se extiende desde nuestros tiempos hasta 0.7 ma se denomina Brunhes, mientras que la época inversa de Matuyama se extiende desde 0.7 a 2.3 ma. Para el caso de la SP solo existe una época magnética ya que las rocas más antiguas son de 0.14 ma es decir que todas las rocas volcánicas de la SP están dentro de la época Brunhes (Maillol *et al.* 1997).

La consideración de Urrutia (1984) es que existe una relación de los periodos de glaciación con las inversiones magnéticas, es posible relacionar las edades en función de determinar las condiciones ambientales.

No se sabe a ciencia cierta que es lo que ha producido (Glatzmaier and Olson, 2005), los cambios paleomagnéticos, en opinión de algunos autores, la cercanía de grandes cuerpos celestes a la Tierra, han provocado la inversión o excursión de sus polos magnéticos, de igual forma no se sabe el origen del mecanismo que genera este magnetismo, en opinión del profesor. Anthony Leggett y de un estudio más reciente hecho por Glatzmaier y Olson (2005) es factible modificar la teoría clásica de la generación del magnetismo, por otra que explique este magnetismo a partir de el roce de la atmósfera con la corteza o la atmósfera con el manto.

## **2.2.- Interpretación de la cartografía geológica.**

Estudios realizados por Maciel (1981, 1986), sobre la zona de intersección del rift de Tepic Chapala y el de Chapala y estudios de semidetalle en la SP (Venegas *et al* 1985 y Maciel 1992, 1997, 1998, 2002b, 2006), se conjuntaron con acceso a la información de múltiples compañías. Debido a la complejidad y lo extenso del área de estudio, se compilo la cartografía de esta sierra dentro de la que destaca la generada por INEGI (1975 y 1999), UNAM (1990), COREMI (1999), Mahood (1980) y se ha detallado la estratigrafía principalmente, en especial la zona ocupada por el lago. En esta fase de reinterpretación de los estudios antes mencionados se complementaron con una fotointerpretación, se obtuvieron ortofotos recientes con la CONAFOR y se tienen fotografías aéreas antiguas del INEGI, imágenes de satélite de archivo de la compañía Reingeniería para Restauración Ambiental (RASA), así como las de acceso gratuito vía Internet de la pagina web Earth Goggle . Las cuales también fueron foto interpretadas y a partir de esta información se preparo las diferentes salidas de campo.

### 2.3.- Paleontología.

Se define que un fósil es cualquier residuo animal o vegetal que se encuentre en depósitos sedimentarios. La posesión de partes duras y un enterramiento rápido, favorecen la conservación de fósiles. Los restos orgánicos pueden preservarse de diversos modos como son: 1) Conservación real, que es el caso de los fósiles encontrados (fotografía 2.1)

Moldes, de igual manera se tienen este tipo de conservación

(fotografía 2.2) Relleno; 4)

Substitución; 5) Mineralización; 6)

Carbonatación y 7) Huellas. La

importancia de conocer y clasificar un fósil y un estrato litológico,

radica en que en base a su identificación es posible asignar

una edad a los mismos y ubicar su

posición estratigráfica de estos, con lo cual será posible realizar correlaciones con otras



Fotografía 2.1.- Conservación real y molde de un cono de pino.



Fotografía 2.2.- Conservación real de conos de pino de la SP.

localidades existentes en la región y avanzar en el conocimiento de los hechos sucedidos en épocas pasadas (Morales, 1996 y Cendredo, 1996). En el caso específico de la SP los fósiles encontrados, pueden ser considerados como una conservación real en el caso de las piñas de pinos y fragmentos de ramas, en algunos casos, estos mismos

elementos o algunas gramíneas, deben de ser considerados como moldes.

Los fósiles fueron georeferenciados con ayuda de un GPS y en tiempo geológico se ubicaron en función de las columnas estratigráficas elaboradas durante el trabajo de

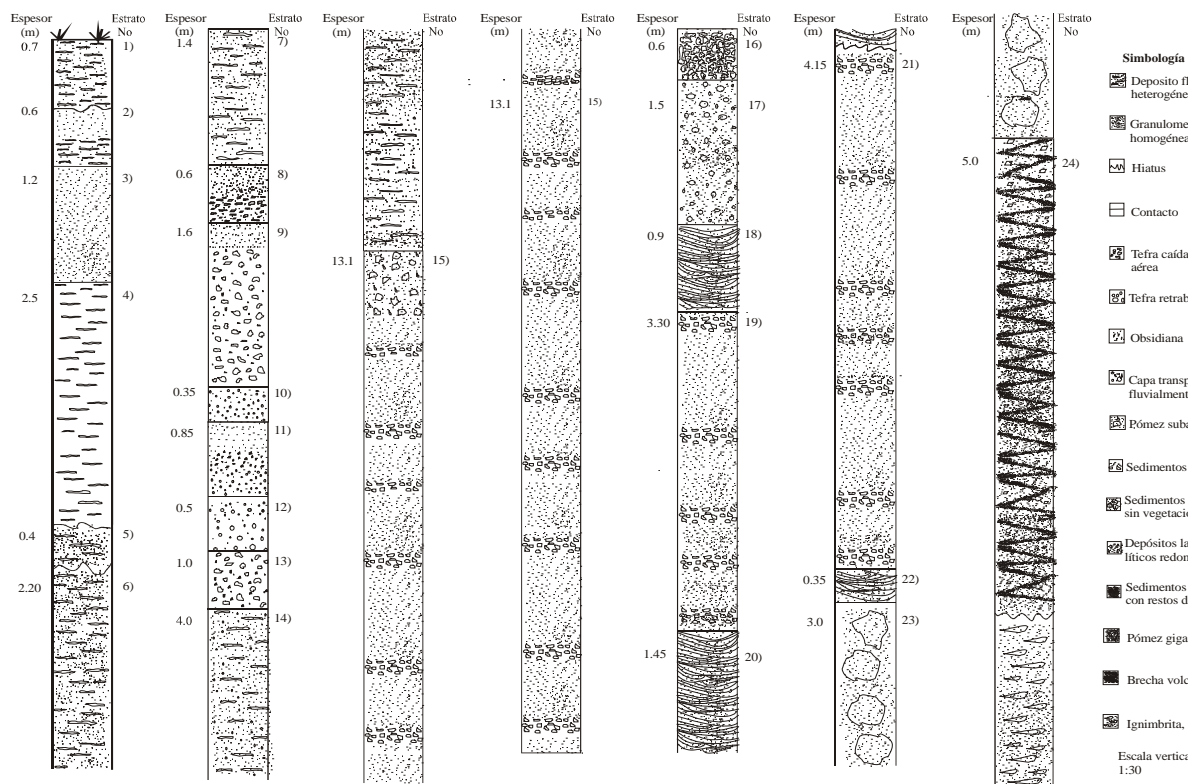


Figura 2.1.- Columnas de tefras, registradas en la SP.

tefracronología (figura 2.1) que se realizó en la zona. Para su recolección se usó material de plástico, para evitar contaminar las muestras, sobre todo aquellas que fueron enviadas a laboratorio para un fechamiento, las que se dejaron para ser estudiadas por otros investigadores no recibieron ningún tratamiento y las que se desea conservar, fueron cubiertas con una delgada capa de barniz.

Existe además de los fósiles antes descritos estratos conteniendo diatomeas, que no han sido clasificadas aún.

#### 2.4.- Estratotectónica.

Para conocer la historia de los depósitos ocurridos dentro del paleolago de la SP, se recorrió en su totalidad la SP a fin de establecer una secuencia estratigráfica, dentro del área de interés se identificaron las localidades tipo, donde es factible apreciar la columna más completa y a partir de la elaboración de esta, se definió una unidad índice, la cual corresponde con la que se denominó pómez gigante, que es una capa fácilmente



identificable en campo, sobre yaciendo a esta se encuentran cuatro unidades con carbón, que son igualmente fáciles de identificar y finalmente, dos tefras que sirven como soporte fundamental para poder realizar estudios de tefracronología. Una vez realizada la secuencia estratigráfica, fue posible realizar mediciones de rumbos y echados así como determinar el grado de plegamiento de los estratos depositados dentro del lago, los cuales además están fracturados y fallados (figura 2.2), a cada una de estas estructuras, es factible de asignársele una edad en función de definir que estrato afecta y con esto realizar estudios de estrato tectónica.

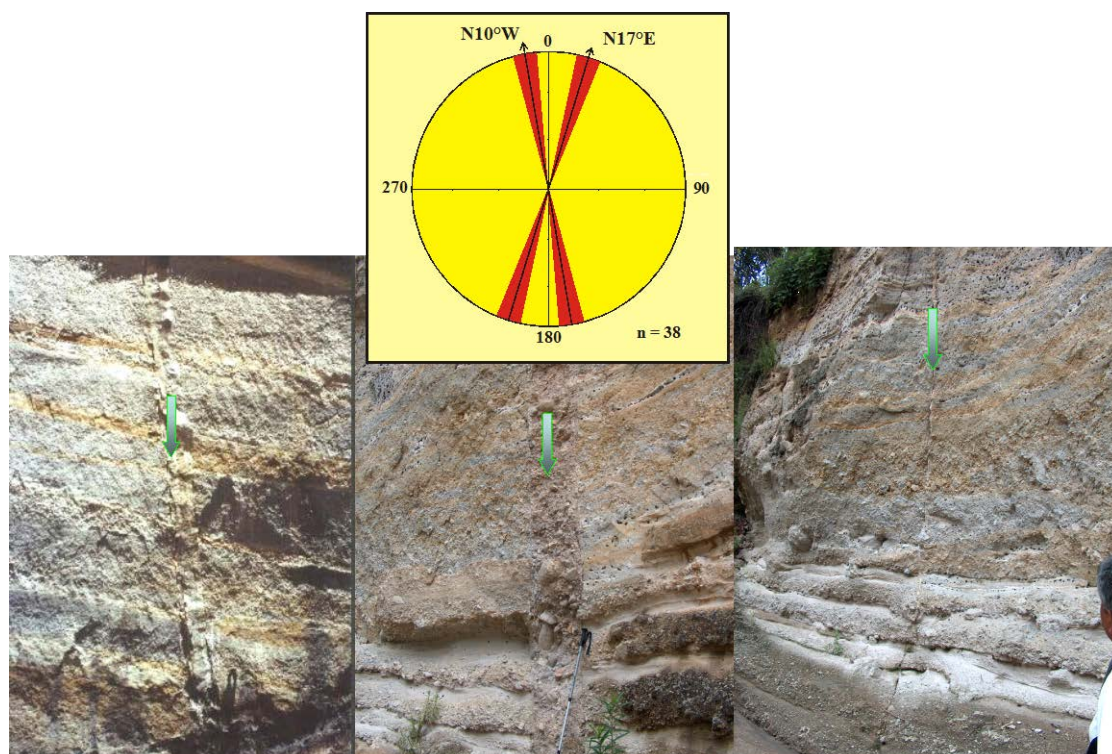


Figura 2.2.- Trend estructural de las fallas de la SP, que presentan hasta cuatro eventos de actividad.

## 2.5.- Sismología

Se integra un estudio realizado por el autor, en un año de trabajo de campo en el periodo (1999 a 2000) en la región circundante a la zona de interés, misma que se presenta en el capítulo 3, los resultados fueron confrontados con los del SSN en el mismo periodo de tiempo. Se recopiló además la información histórica de la región, generada antes de la instalación de la red sismológica nacional mediante bibliografía diversa la cual se presenta

en el cuadro 2.1 y mediante la consulta de la pagina web del Servicio Sismológico Nacional (SSN) asociado a la UNAM ([www.ssn.unam.mx](http://www.ssn.unam.mx)), se obtuvo la información histórica de la sismicidad registrada en la zona, una vez que se instalo en México una red de sismógrafos, que detectaron instrumentalmente los sismos en el país.

Cuadro 2.1.- Actividad sísmica en las inmediaciones de la SP

Parámetros	Estudios		
Fuente	SSN	Maciel (2000)	SSN
Fecha	1999-09-01 a 2000-08-31	1999-09-01 a 2000-08-31	1990-01-01 a 2006-04-17
Latitud	20.0 - 21.0	20.0 - 21.0	20.0 - 21.0
Longitud	103.0 - 104.0	103.0 - 104.0	103.0 - 104.0
Eventos	1	16	28
Magnitud máxima	3	3.55	4

## 2.6.- Estudio de tefracronología

Según Maciel (1981 y Johannesson *et al.* 1982), el estudio de las capas de tefras, como una herramienta para estudios geológicos inicio en Islandia y otros países alrededor de 1930. En Islandia estos estudios le permitieron elaborar la tesis doctoral a Thorarinsson (1944) quien la titulo Tefrokronologiska studier pa island, el introdujo el termino tefra y tefracronologia, y uso la palabra tefra como un termino colectivo para todos los piroclastos de caída aérea y el termino tefracronologia como un método de fechamiento basada en la identificación, correlación y fechamiento de capas de tefras. Thorarinsson también señalo la importancia de la tefracronologia como una herramienta en investigaciones relacionadas en vulcanología, palinología, glaciología, geomorfología y arqueología, en este trabajo se usa con la finalidad de tener elementos de la paleolimnología del lago Pleistoceno que existió en la SP.

De acuerdo con Thorarinsson (1974), Maciel (1981) y Johannesson (1982), la tefracronologia ha sido aplicada en Islandia, en diferentes campos como son:

- 1) Estudios de erosión fluvial y de viento.
- 2) Fechamiento de oscilaciones glaciares
- 3) Fechamiento de núcleos de hielo de glaciares.
- 4) Estudios del fenómeno periglacial, especialmente el fracturamiento de polígonos.
- 5) Estudios arqueológicos, especialmente el fechamiento de ruinas de granjas.
- 6) Estudios de palinológicos para determinar cambios en la vegetación.
- 7) Establecimiento de conexiones tefracronológicas entre Islandia y otros países.
- 8) Investigaciones sobre tumbas o criptas.
- 9) Establecimiento de la historia volcánica de volcanes activos y la estimación del peligro volcánico.
- 10) Estudio de las características eruptivas de los volcanes.
- 11) Fechamiento de flujos de lavas.

Es necesario de considerar cuando se estudia en campo las capas de tefras, si el viento o el agua no ha erosionado estos estratos, o bien si en el mejor de los casos han sido cubiertas por suelo, estas deben de aparecer en horizontes mas o menos distinguibles, en los perfiles que se elaboran o afloran en cañadas. En el caso de estudio, algunas de las tefras fueron reabajadas y se reportan como depósitos fluviales.

Para identificar las capas de tefras en el campo es necesario hacer notar su color (el cual usualmente refleja su composición química), espesor, granulometría y características físicas de los fragmentos que la conforman y evidentemente su posición estratigráfica.

En el laboratorio las muestras de tefras, pueden ser identificadas por la determinación de su mineralogía, características físicas o químicas (siendo el uso del microscopio el método más usual). Varios parámetros granulométricos pueden revelar el tipo de actividad explosiva que la originó.

Las capas de tefras pueden ser fechadas por varios métodos, uno puede ser por  $^{14}\text{C}$ , si se obtiene carbón que sobreyace o subyace a la capa que se desea fechar, tal es el caso de este proyecto de investigación, también puede ser por la extrapolación de relaciones

estratigráficas de otras capas de tefras ya fechadas, las cuales muestren la misma tasa de sedimentación, por dendrocronología, palinología, y con la ayuda de la arqueología.

Para apreciar el tamaño de los fragmentos de tefras, estas deben de ser lavadas, para separar la materia orgánica y el suelo. En este proceso deben de usarse herramientas de plástico y agua corriente para lavar la mezcla. Después de haberla lavado varias veces esta debe de ser secada, para iniciar con las diferentes pruebas.

Es necesario considerar que pueden existir diferentes causas por las cuales se altere un depósito de tefras, algunas de ellas son:

- 1) Variación de la dirección del viento, el cual puede ser errático.
- 2) Redistribución de partículas por erosión y movimientos de masas (dejando de ser tefras).
- 3) Redistribución fluvial de las tefras (convirtiéndose en sedimentos).
- 4) Una compleja estratigrafía que impida la correlación entre varias localidades donde aflore las tefras.
- 5) Alteraciones físicas o químicas.
- 6) Muchas otras, más sutiles pueden permitir variaciones que afecten o modifiquen los depósitos de tefras, como pueden ser tormentas locales, comúnmente desarrolladas cerca de una erupción, la lluvia de estas tormentas pueden producir un depósito anómalo de partículas o alterar sus características físico químicas e inducir una distribución absurda del tamaño de partículas depositadas. Una cierta fracción de las tefras en su distribución regional puede pasar por zonas con lluvia o puede coincidir con periodos de lluvia generalizada.

Estos problemas muestran la necesidad de realizar estudios en forma sistemática usando apropiadamente conceptos de mineralogía y química, así como considerar características texturales y de tamaño, en adición con la distribución geográfica y configuración geométrica.

## 2.7.-Georeferencia de localidades tipo.

Para definir el plegamiento de los sedimentos y tefras, cada una de estas se identificaron por sus características litológicas como se explicará en el subcapítulo de tefracronología y de cada uno se midió el rumbo y echado. En diferentes partes de la SP, se obtuvo esta



Fotografía 2.3.- Estratos plegados

información, pero para poder ubicarla en una carta geológica fue necesario hacer su georeferencia, para lo que se uso dos aparatos de posicionamiento geográfico, un navegador y uno de precisión, el primero fue para tomar datos generales sobre el aspecto geológico, pero el segundo fue aplicado para estudiar la deformación de los estratos del paleolago de la SP (fotografía 2.3).

Para el segundo propósito fue necesario en principio identificar un estrato

índice (pómez gigante), el cual se geoposicionó en diferentes localidades, y esto se logró usando un sistema de posicionamiento global de precisión (GPS por sus siglas en ingles), marca Leica (Maciel *et al.*, 2006), modelo 510 de recepción satelital. La metodología para el uso de esta herramienta es usar dos aparatos al mismo tiempo, un aparato se utilizó como base y se instalo en una mojonera colocada por el Instituto

Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI), en el Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (fuera de la caldera), otro equipo, se uso para medir puntos de interés en la sierra, ambos aparatos reciben información vía satélite. El GPS, obtiene las coordenadas de los puntos de interés con una precisión de hasta 2 mm en X y Y, y 5mm en Z, lo cual puede ser un gran error si las mediciones que se desean hacer son menores de estas dimensiones, como es el caso para algunos propósitos como medir las deformaciones de un sector de la corteza. El post-proceso de los datos de campo, se realizó con el programa Leica Ski-Pro, que permite procesar los datos y resolver ambigüedades, dando como resultados el cálculo de las coordenadas X, Y y Z y las ondulaciones geoidales.

La metodología utilizada en el recorrido de campo (Maciel y Rosas, 2006a), consiste principalmente en tomar todos los puntos necesarios durante la visita a los afloramientos, dando un tiempo de 10 minutos, para cada punto ubicado con el equipo móvil, mientras que el fijo se mantienen prendido 10 minutos antes de prender el móvil y se apaga 20 minutos después de apagar el móvil, con esto se asegura que en el trabajo de post-campo, se pueden ajustar con los datos del equipo fijo todos los puntos tomados con el móvil.

Además de usar el GPS de precisión para tener una buena geo-referencia de los afloramientos visitados, se ubicaron 5 puntos con máxima precisión, usando el método de punto fijo, colocando el equipo portátil sobre un triple, para medirlos periódicamente y definir si la deformación de la sierra continua o no. El datum usado es el NAD27. De igual forma se uso un distancio metro láser para medir con mayor rapidez y precisión los estratos.

## **2.8.- Geocronología.**

Ya existen reportes sobre edades obtenidas a partir de rocas superficiales (Mahood, 1980) y de subsuelo extraídos de la SP que se presentan en la figura 1.7 y son presentadas en el cuadro 2.2, las cuales se ubicaron en la carta topográfica (figura 2.3). Sin



embargo no se tenía información sobre fechamientos realizados a fósiles, por lo que se consideró importante obtener su edad, se consideró prudente mandar unas muestras a un laboratorio tradicional con sede en la universidad de Tucson, AZ.

Cuadro 2.2.- Edades K-Ar de unidades litológicas de la SP

Número de K-Ar	Número de muestra	Edad calculada $\pm$ lo (1000 años)	Coordenadas		Localidad
<b>Pre-Caldera Lavas</b>					
2964	28	111.4 $\pm$ 5.1	227520	64920	Grupo de Arroyos Saucillo en Agua Caliente
3246	193	123.3 $\pm$ 2.4	228770	64755	Domo del Río Salado
3437	193	149.6 $\pm$ 11.7	228770	64755	Domo del Río Salado
3288	193	--	228770	64755	Domo del Río Salado
3026	186	100.4 $\pm$ 5.9	228865	64675	Domo Mesa del León
<b>Tala Tuff:</b>					
3283	252	95.2 $\pm$ 3.7	228585	65050	Arroyo el Gallo este del Cerro el Pedernal
3281	218	96.7 $\pm$ 2.4	228790	65040	Risco al sur del sitio del Arroyo de Arena Grande
<b>Central Domes and Glant Horizon:</b>					
3225	214	101.8 $\pm$ 5.2	228475	65340	Parte baja de la mesa del Nejahuete
3222	214	128.7 $\pm$ 4.6	228475	65340	Parte baja de la mesa del Nejahuete
3287	317	111.1 $\pm$ 7.0	228210	65320	Parte baja de la mesa del Nejahuete
3289	317	112.9 $\pm$ 9.4	228210	65320	Parte baja de la mesa del Nejahuete
3282	234	122.2 $\pm$ 3.1	228915	66185	Tributario del Arroyo de Arena Chica
3352	234	103.8 $\pm$ 11.3	228915	66185	Tributario del Arroyo de Arena Chica
3296	283	126.2 $\pm$ 3.1	228830	65100	Parte baja del Cerro Alto
3296	283	115.5 $\pm$ 15.4	228830	65100	Parte baja del Cerro Alto
<b>Older Ring Domes</b>					
3225	92	99.7 $\pm$ 2.77	209045	64955	Domo del Cerro del Chato
3242	64	97.7 $\pm$ 2.9	228820	65800	Domo el Capulin
3019	37	91.8 $\pm$ 6.3	229215	65535	Arroto Domola Cuartilla
3234	37	126.9 $\pm$ 5.0	229215	65535	Arroto Domola Cuartilla
3024	148	82.8 $\pm$ 10.7	228575	65475	Parte alta de la Mesa del Nejahuete
3230	101	205.0 $\pm$ 11.7	228770	65470	Parte alta de la Mesa del Nejahuete
3025	14	96.8 $\pm$ 4.8	229215	65370	Domo de Pinar de la Venta
3032	133	96.8 $\pm$ 5.0	228150	65355	Cerro el Tule
3223	133	108.4 $\pm$ 6.3	228150	65355	Cerro el Tule
<b>Younger Ring Domes:</b>					
3244	79	83.6 $\pm$ 2.5	228150	65615	Arroyo del Domo Ixtahuatonte
3028	25	$\pm$ 71.3 7.2	227985	65690	Domo La cuesta
3034	174	73.0 $\pm$ 3.6	228350	65000	Flujo Sur sureste de el centro Cerro el Pedernal
3048	174	46.3 $\pm$ 21.3	228350	65000	Flujo Sur sureste de el centro Cerro el Pedernal
3215	112	68.9 $\pm$ 3.8	228345	65040	Flujo Oeste del centro del Cerro el Pedernal
3218	107	77.2 $\pm$ 1.8	228090	64995	domo cerro el Culebro

3216	108	89.5 ± 5.6	228160	64975	Domo La Puerta
------	-----	------------	--------	-------	----------------

**Southern Arc Laves:**

3245	105	84.6 ± 5.2	227805	64610	Flujo oeste del centro del Cerro de San Miguel
3031	106	52.5 ± 7.4	227850	64655	Flujo sur del centro del Cerro de San Miguel
3247	106	92.0 ± 5.2	227850	64655	Flujo sur del centro del Cerro de San Miguel
3248	106	82.6 ± 5.7	227850	64655	Flujo sur del centro del Cerro de San Miguel
3224	83	60.5 ± 6.2	227800	64735	Flujo Llano Grande
3027	115	61.3 ± 6.9	227745	65150	Flujo sur suroeste del centro del Cerro Las Plantillas
3033	67	25.5 ± 8.0	227630	66095	Flujo sur sureste del centro del Cerro el Tajo
3232	40	5.8 ± 8.7	227765	66135	Flujo este del centro del Cerro El Tajo
2967	15	30.1 ± 6.6	228555	65995	Domo del Cerro El Colli
3231	15	31.9 ± 4.1	228555	65995	Domo del Cerro El Colli

1. The ± figure is an estimate of the standard deviation of precision, using equation give in text.

$$1_c = 0.581 \times 10^{-10} \text{ yr}^{-1} \cdot \lambda_B = 4.962 \times 10^{-10} \text{ YR}^{-1} \cdot {}^{40}\text{K}/\text{K} = 1.167 \times 10^{-4}$$

2. Letter for eruptive unites corresponded whit those on figure 2, Part II.

Tomado de Mahood (1980)

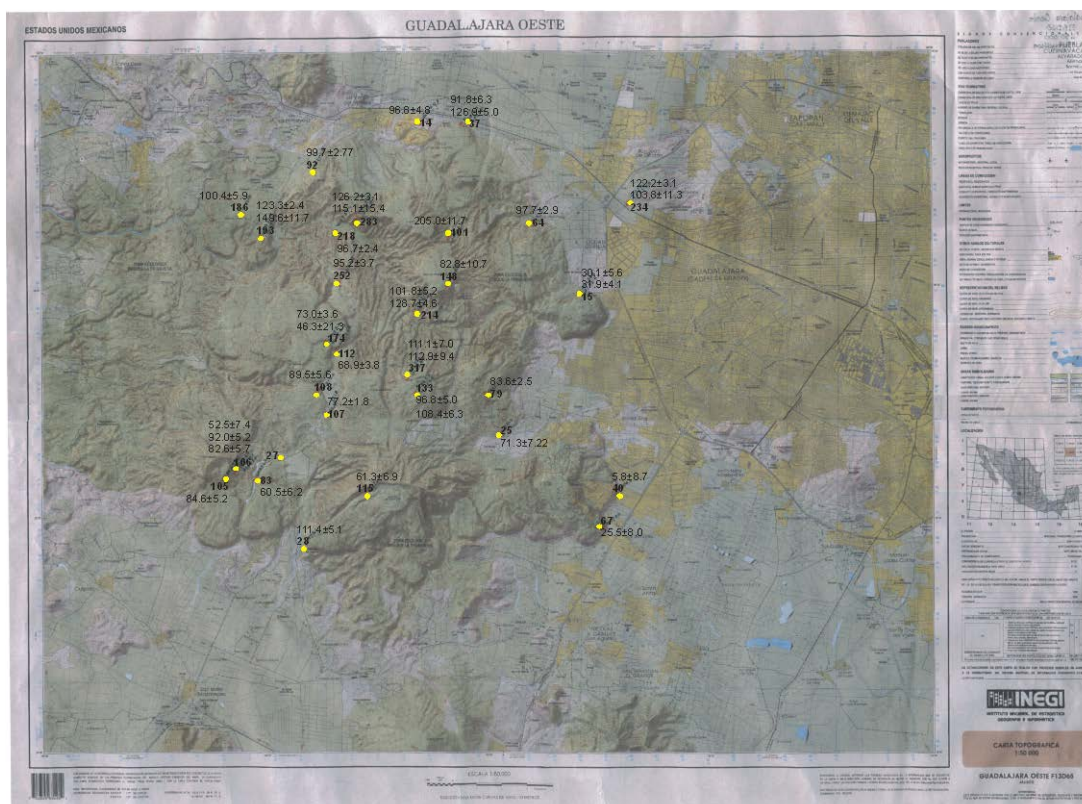


Figura 2.3.- Carta topográfica con la ubicación de las edades obtenidas en la SP (Mahood, 1980)



### **3.- DESCRIPCIÓN DEL MEDIO FÍSICO**

Típicamente la caracterización del medio físico para estudios ambientales de un área específica, comprende la descripción del medio abiótico y biótico, sin embargo es común que se haga un estudio de corte y por lo tanto no se refiera el mismo a un tiempo geológico, en principio porque no existe toda la infraestructura, tiempo, presupuesto, ni información necesaria para lograr esto, por otro lado, el interés principal, la mayoría de las veces se centra en conocer que pasa y que pasará en un futuro inmediato.

En el presente trabajo sobre la SP, se pretende ubicar al lector en un contexto geológico ambiental regional, pero el objetivo principal no es ubicarlo solo en espacio, sino además en tiempo geológico, complementariamente explicar los principales fenómenos ocurridos en este periodo de tiempo, tanto locales como regionales, para tener la información suficiente que nos permita explicar los cambios ocurridos en el bosque y lago que existieron en esta sierra, asociados a la geodinámica y CCG que incidieron en esta localidad.

#### **3.1.- Geología.**

Considerando la edad de la Tierra, estimada en aproximadamente 4.5 mil ma, la región estudiada, con una edad menor a los 140,000 años (Mahood, 1980), es relativamente joven, si analizamos los cambios ocurridos en nuestro planeta, podemos resumir que en sus inicios, la composición química y física de la atmósfera, no fue similar a la que tenemos actualmente, de igual forma la rotación de nuestro planeta, fue diferente a la actual, de tal manera que los últimos datos obtenidos a partir del estudio de fósiles (moluscos) Saltzman (2002), se ha podido determinar que hace 400 ma un año estaba formado por 400 días, por otra parte hace 4 mil millones de años, el día tenía una duración de 14 horas (figura 3.1), los continentes tenían una distribución diferente a la actual (figura 1.1) y como la geodinámica continua, en un futuro, su distribución será diferente a la actual finalmente Austin (1973) determina que el nivel del mar, ha variado hasta 120 m.

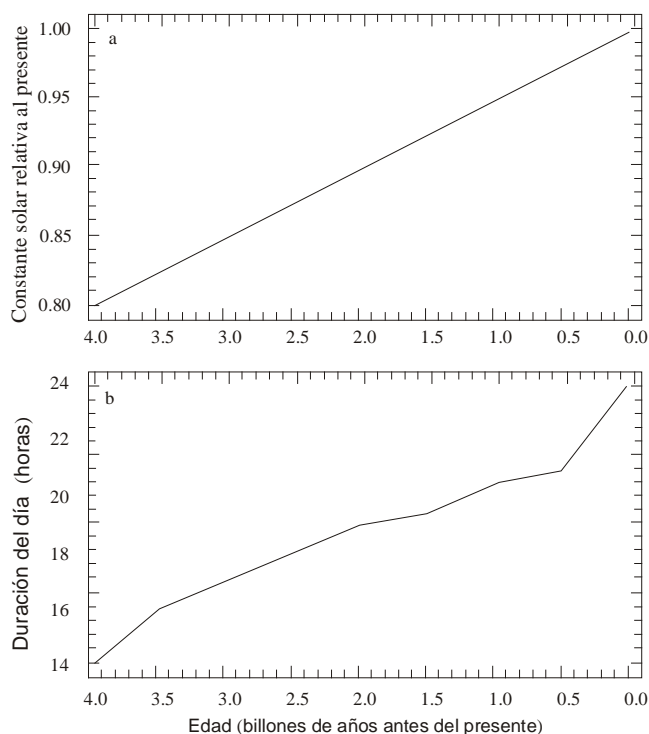


Figura 3.1.- La duración del día a lo largo de la historia de la Tierra (Saltzman,2000).

Actualmente por medio de la geología, paleontología y otras disciplinas, se reconstruyen las etapas antiguas de la actividad geológica, que no quedaron registradas por escrito o gráficos de los seres humanos, sino a través de los sedimentos depositados en diferentes ambientes, en este caso un lago. Estos reflejan el tipo de erupción por sus características físicas y químicas. La presencia de materia orgánica, como el carbón, permite establecer la edad de los depósitos con precisión, con lo que se ha reconstruido la historia de algunos eventos, incluso la de los volcanes de la Tierra (Stevens, 1980).

Aunado a esto se puede decir que cada provincia fisiográfica de la Republica Mexicana (figura 1.5), desarrollo una geodinámica particular, lo que corresponde a la SMO (Maciel-Flores, 1986 b) es la provincia adyacente a la zona de estudio, donde actualmente vive la comunidad de pinos que existió en la SP, esta se extiende desde Sonora hasta Jalisco por más de 1 000 km, es en sí una meseta, con un promedio de altitud de 2,000 a 2,800 msnm, la cual, fue formada en respuesta a la actividad tectónica entre dos placas, esta constituida por acumulaciones volcánicas y disecada por la erosión

fluvial que ha originado cañones profundos de más de 1 000 metros. Su mayor actividad fue del Oligoceno al Mioceno, fue conformada por emisiones de rocas ígneas, clasificadas como ignimbritas, riolitas y tefras acidas, a partir de una serie de calderas, distribuidas a lo largo de toda la provincia (Maciel 1986). Otra provincia es la conocida como la FVM. Su relieve lo forma un conjunto de planicies escalonadas que van desde los 500-800 m en Colima y Nayarit a los 2 600 m en Toluca (Venegas *et al.* 1985 y De la Fuente. y Verma 1993).

Dentro de la FVM, las calderas son formas del relieve, testigos de procesos volcánicos de magnitud no observada en tiempos históricos por el hombre en México. La ciudad Guadalajara se encuentra al lado de la caldera volcánica La Primavera (Maciel-Flores, 1986a), objeto del presente estudio, otra pequeña esta en Tepic, se considera que es una estructura semejante a la que ocupa la ciudad de Toluca. Otras calderas jóvenes se

localizan cerca de las poblaciones de Amealco y Huichapan, en el centro de la FVM. La de mayor dimensiones es la de Los Humeros, en los límites de Puebla, Tlaxcala y Veracruz. Todas estas, actualmente no tienen un lago en su interior, algunos cráter-lago presentes en México son el Volcán Nevado de Toluca, en la Isla Isabel (Maciel *et al.* 2006) Nay. (fotografía



Fotografía 3.1.- Mosaico fotográfico de la Isla Isabel, Nay. En donde se puede apreciar su cráter-lago.



Fotografía 3.2.-. Panorámica del cráter-lago de Santa María del Oro, Nay.

3.1), Los Negritos Mich.(Rosas *et al.*, 1996) y en Santa María del Oro Nay. (fotografía 3.2). Los cuales presentan una batimetría diferente, en el caso de la Isla Isabel, su lecho es sensiblemente plano y su profundidad es baja, mientras que en las otras dos su batimetría revela un cono profundo, por lo que su pendiente es fuerte y el lecho no es plano, una condición similar a estas últimas debió de haber sido lo que se presentó en el lago de la SP, ya que al correlacionar la estratigrafía definida por medio de los pozos geotérmicos, con el trabajo de tefracronología realizado, en las márgenes del lago el espesor de sedimentos es pobre, en comparación con lo encontrado en la parte central de la misma.

La Sierra de La Primavera según Mahood (1980), tiene una extensión de aproximadamente 200 km<sup>2</sup>, sin embargo midiendo directamente en una carta topográfica de INEGI, el área cubierta directamente por sus edificios volcánicos cubre 340 km<sup>2</sup>, emitidos, entre los 140,000 y 27,000 años, de las dataciones existentes de la SP (se anexan el cuadro 2.2), las más antiguas corresponden con domos riolíticos y flujos encontrados en los bordes noroeste y sur de la sierra, sin embargo durante las perforaciones realizadas en la parte central de la SP se encontraron flujos de riolita, provenientes seguramente de domos riolíticos sepultados que no tienen un reflejo superficial, o como el caso de El Poleo, una localidad en la parte suroccidental de la SP que es un cráter de un domo riolítico prácticamente sepultado, con un pobre reflejo superficial.

La SP se ha tipificado como una sierra cuyos productos afectaron directamente un área de aproximadamente 340 km<sup>2</sup> (figuras 1.4 y 1.8), por eventos volcánicos de tipo riolítico, que formaron entre otras geoformas una caldera y más de 22 domos en la época del Pleistoceno. Sin embargo, la emisión de tefras afectó un área mayor, estimada en más de 700 km<sup>2</sup> que enmascaró las topofomas preexistentes, como conos cineríticos y estructuras geológicas de un edad mayor al Pleistoceno, esta zona de influencia por la emisión de tefras es poco clara dado que existe al norte de la SP una serie de domos riolíticos de una edad estimada en 1 ma, como es el caso del Cerro La Col que de igual forma emitió una serie de productos piroclásticos que en campo es difícil de definir cuales provienen de un determinado centro emisor, esto último se deduce en función de las edades de rocas obtenidas por Mahood (1980) y del estudio de su morfología (figura 1.4). La juventud de la zona de estudio, es evidente al observar las estructuras primarias bien preservadas de las rocas volcánicas que conforman los edificios volcánicos y los depósitos que forman las diferentes capas de tefras y depósitos vulcano-sedimentarios, lo que nos indica la presencia de un lago en tiempos pasados, dentro de la actual sierra. Al realizar exploraciones geológicas en la zona, a pesar de su formación reciente, es también posible apreciar plegamiento y fallas, resultado de los esfuerzos tectónicos a las que han sido sometidas.

El principio de la caldera se dio cuando un flujo de ceniza, nombrado “Toba Tala” por Mahood (1980), fue originada de la parte central de este complejo volcánico cuaternario y cubrió aproximadamente 700 km<sup>2</sup> con cerca de 20 km<sup>3</sup> de magma. Esta erupción generó el colapso de todo este complejo (hace aproximadamente 110,000 años) y formó una caldera de 11 km de diámetro, dentro de la cual se generó un lago, iniciando de esta forma un proceso de sedimentación en la base del mismo (figura 3.2). Posterior y anterior a este evento se sucedieron varios más, surgiendo diferentes domos que cubrieron en su mayor parte la expresión superficial de esta caldera, quedando sólo dos localidades como testigos de esta depresión, una al sur del C. El Colli y la segunda en lo que es actualmente la parte adyacente a Periférico y Av. Vallarta, que es una depresión conocida como “El Bajío” que es una parte erosionada de esta antigua caldera y el inicio del límite del paleo-lago Pleistoceno. Este estudio incluyó la elaboración de la

estratigrafía del lago, y estudios de carbón, lo cual se logró obteniendo fechamientos mediante el método de  $^{14}\text{C}$  para tres de los fósiles encontrados (fotografía 3.3.

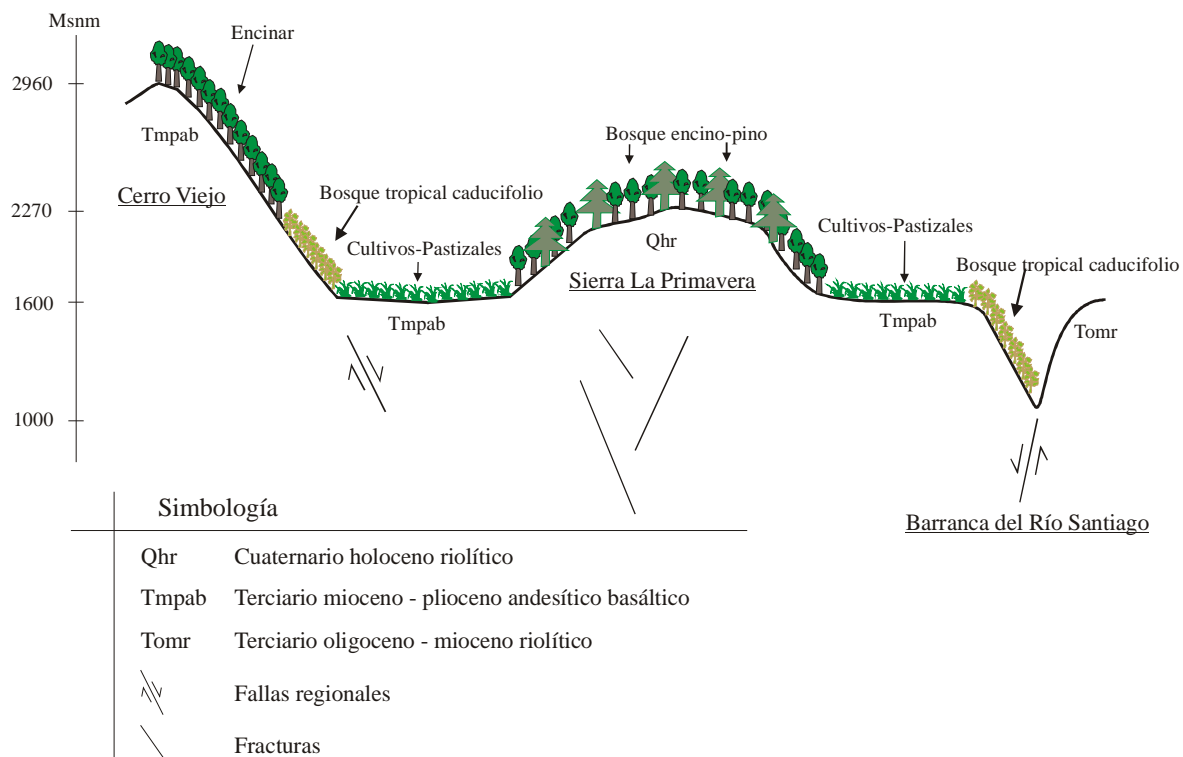


Figura 3.2.- Perfil de la SP y su biogeografía.



Fotografía 3.3.- Estratos fosilíferos de la SP.

El aporte de sedimentos hacia las partes bajas, que se da en la actualidad, indica que no existe aún una estabilidad de las laderas y además en estos sedimentos se observa el reflejo de las fallas que afecta a estratos de tefras menores a 30,000 años, lo que indica que existe

un movimiento en la sierra, el cual se da principalmente hacia la parte central de la caldera.

La SP, está dentro de la provincia fisiográfica denominada FVM, la cual se caracteriza (Venegas *et al.* 1985), como se menciona antes por ser una faja que atraviesa la República Mexicana, que esta constituida por diferentes emisiones de rocas volcánicas, principalmente basaltos y andesitas, son de reciente formación correspondiente a eventos de una edad menor a 5 ma (López-Ramos, 1995; Luhr, *et al.* 1989; Maciel, 1981; Nieto, 2000). La SP dentro de esta provincia es atípica, dado que su composición no es básica o intermedia como ocurre en la mayor parte de la FVM y su edad es muy reciente. En las inmediaciones de la SP, se localizan otros edificios volcánicos de composición riolítica, como lo es el domo de La Col cuya edad es cercana a 1 ma y es antecesor de la SP y que se ha considerado como vestigios de la migración de la cámara magmática que dio origen a la SP (Serpa *et al.* 1991 y Alatorre-Zamora, 1992).

Las tefras depositadas dentro del lago cráter de la SP presentan una inclinación que va de los 2° a los 35° (fotografía 2.3) y en las capas con mayor deformación se aprecian estructuras de corrimiento, estas deformaciones están asociadas a la continua actividad vulcano-tectónica desarrollada en los últimos 95 mil años, que incluye la formación de domos en el centro y periferia de la caldera así como un plegamiento positivo de la caldera asociado a un resurgimiento de la cámara magmática que afecto más la parte central de la SP. Los estratos más recientes afloran en las partes bajas y cerca del perímetro del lago, los más antiguos se ubican en las zonas altas y centrales del paleolago, actual sierra. Se realizó la identificación y georeferencia de un mismo estrato cuadro 3.1, que es el que contiene la denominada pómez gigante y usando un GPS de precisión se midió la altura en las partes limítrofes del lago y en la parte central del lago, con esta medición se determinó que el lecho del lago se ha levantando más de 149.56 metros de su nivel original (figura 3.3), esto considerando que hubiera existido un lecho plano, sin embargo esto no es cierto, dado que la evidencia de los espesores determinados por medio de la estratigrafía obtenida de los pozos geotérmicos (figura 1.7) y el trabajo de tefracronología indica que el lago tenía una mayor profundidad en la



parte central que en sus inmediaciones, por lo que el levantamiento es mayor a lo medido. Se instalaron una serie de mojonearas en diferentes puntos de la SP, con la intención de hacer mediciones periódicas y definir si el levantamiento continúa o no, pero el nivel de medición del GPS de precisión que es de 5 mm no es suficiente si el movimiento es menor a este, por lo que en tres años no se ha detectado deformación alguna en la SP. Aún cuando se ha identificado fallas recientes con reactivación.

Cuadro 3.1 Georeferencia de dos localidades con el mismo estrato, para medir el plegamiento registrado en la SP, entre las márgenes del lago y la parte central del mismo.

Punto	Coordenadas		
<b>Pómez gigante en el arroyo Arena Grande</b>	<b>0658025</b>	<b>2289010</b>	<b>1659.01 msnm</b>
<b>Pómez gigante en la parte central de la SP</b>	<b>0653648</b>	<b>2284436</b>	<b>1808.57 msnm</b>

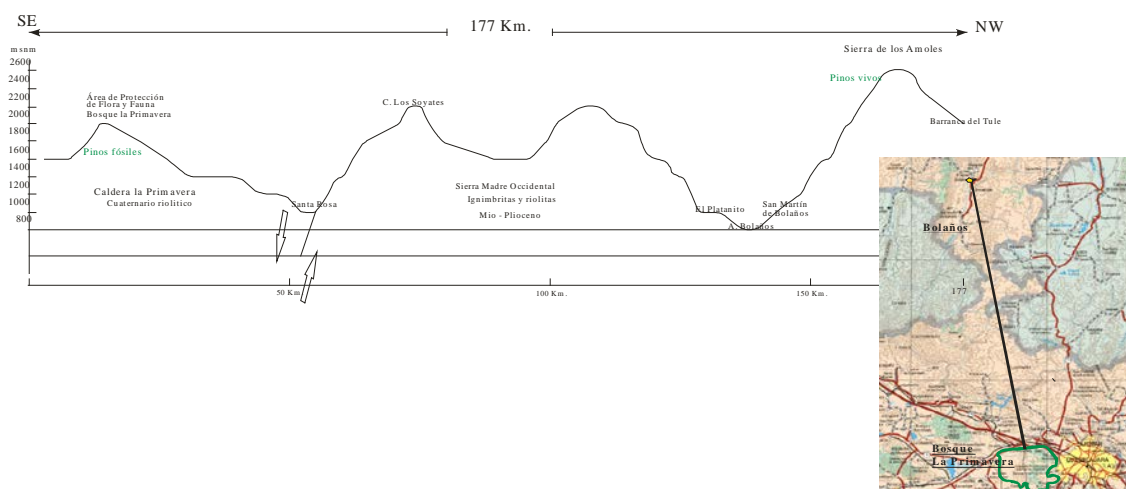


Figura 3.3.- Perfil topográfico de la SP a la SB.



### 3.1.1.- Historia geológica

Es necesario considerar que según la historia geológica de la SP, antes de iniciar su actividad volcánica, fue aparentemente una gran planicie, esto se desprende del análisis del modelo digital de elevación de la SP (figura 1.4) y sus inmediaciones las cuales muestran que existen, con excepción de la sierra pocas elevaciones, por lo que la flora y la fauna debería de haber sido la similar a la que existió en su periferia, que debió de haber sido un poco diferente a la actual dado que hace más de 140,000 años, existía aún una glaciación, como se detallará más adelante. Durante las erupciones que originaron a este complejo volcánico, se emitieron rocas cuya temperatura de fusión es de 600° a 900° C, las cuales no son propicias para la proliferación de elementos bióticos, estas rocas y tefras depositadas debieron a partir de su depósito empezar a enfriarse poco a poco. Posterior a la emisión de la denominada Toba Tala, que fue la de mayor volumen emitido (20 km<sup>3</sup> según Mahood 1980), quedó un hueco en el subsuelo, lo que provocó un colapso de la corteza existente sobre del mismo, formando de esta manera una caldera, en un breve espacio de tiempo y por las lluvias principalmente se creó un lago, tal vez dentro del lago aparecieron, como hoy existen, algunos manantiales termales, fumarolas y sulfataras. Con el tiempo y enfriamiento de la zona se debió de haber empezado a crear las condiciones propicias para que algunas plantas empezaran a colonizar, y en consecuencia algunos animales empezaran a explorar esta región aún cuando no se han encontrado evidencias de esto. Al continuar tanto las erupciones volcánicas como las deformaciones de esta localidad, el lago desapareció y el microclima fue nuevamente modificando por los CCG y la nueva morfología, alterando las condiciones para la flora y fauna presente que se modificaron o desaparecieron.

Como parte de los resultados sobre la historia geológica (Maciel y Rosas 1992) y en función de los sedimentos existentes, que denotan un depósito vulcanosedimentario, se ha logrado concluir que existió un lago, dentro de una caldera, desarrollada durante la actividad volcánica desplegada entre los 110,000 y 27,000 años (Mahood, 1980), actualmente este lago está extinto, pero quedan las evidencias por medio de los depósitos lacustres aún existentes y fáciles de estudiar en las cañadas existentes en la SP.

En las inmediaciones de este lago y en alguno de los domos, se desarrollo el bosque del cual solo quedan algunos restos de pino, lo que perpetuo su presencia por medio de los fósiles, gracias a que se generaron las condiciones propicias para la preservación de estos restos en forma de fósiles, en sedimentos muy finos y que fueron encontrados durante el estudio de tefracronología desarrollado, ha sido posible reconstruir parte de la historia geológica de esta sierra considerando la paleontología, como a continuación se describe.

### 3.1.2.- Paleontología

Durante este trabajo se recolectaron y georeferenciaron cada uno de los estratos con fósiles antes citados (cuadro 3.2), la mayoría de ellos bien conservados, lo cual es lógico

Cuadro 3.2.- Edad y localización de fósiles en la SP.

Fósil	Coordenadas			Edad en años A.C.
		N	W	
1	13Q	658169	2289017	
2	13Q	658135	2289020	
3	13Q	658113	2289020	
4	13Q	658032	2289016	
5	13Q	658032	2289016	
6	13Q	658032	2289016	>39,170
7	13Q	658780	2289020	
8	13Q	658780	2289020	
9	13Q	658100	2289019	38,170 +790/-720

en función de la juventud de los mismos, algunos de ellos se depositaron en el herbario de la Universidad de Guadalajara y al comparar las especies de los pinos fósiles con las especies presentes ha sido posible determinar que en la SP no existe actualmente la comunidad de pinos fósiles encontrados, esta comunidad se encuentra actualmente distante y la más cercana ha sido encontrada, por Pérez de la Rosa (comm pers 2004), quien ha documentado que en la sierra de Bolaños (SB), existe un bosque con una

comunidad similar al que existió en la SP. Como se puede apreciar en la figura 3.3 entre ambos sitios existe 850 m de diferencia en altura y 177 km de distancia, así como una serie de ríos de gran profundidad. Es necesario citar que la vegetación fósil del Pleistoceno encontrada, no es considerada como la frontera de la vegetación de su época, su real límite se ignora, pero el límite de esta frontera está actualmente en la SB.

Los cuatro estratos encontrados durante la realización del trabajo de tefracronología, contienen carbón y restos fósiles de pastos y pinos (conos, acículas y troncos), en mayor abundancia los dos más recientes, de los cuales se tomaron muestras y de esta manera en laboratorio, se logró identificar que principalmente los pinos y troncos corresponden a las siguientes especies:

*Pinus durangensis* Martínez,

*Pinus leiophylla* Schiede ex Schltdl. & Cham.,

*Pinus montezumae* Lamb.,

*Pinus luzmariae* Pérez de la Rosa,

*Pinus teocote* Schltdl. & Cham.y

*Pinus douglasiana* Martínez

Esta asociación de pinos ya no existe en la localidad, como tal, solo quedan algunos de ellos no como elementos abundantes en el bosque, solo como individuos aislados y en un bajo número.

En pasadas campañas de campo se registraron otros lugares con fósiles, cerca de la población de Tala, pero al regresar para hacer la recolección y posterior identificación, se encontró que habían desaparecido por la erosión de la zona, por lo que actualmente la única localidad que contiene fósiles son los cuatro estratos aflorantes en la localidad conocida como “El Bajío”.

La característica física de estos fósiles como se pueda apreciar en las fotografías 2.1 y 2.2 es que los mismos están aplastados por la presión litostática, presentan un color negro, que da la apariencia de ser un carbón, sin embargo en laboratorio, se encontró que

la parte central de las ramas y elementos vegetales en general, presentaban su color natural y solo la parte externa presentaba este color, por lo que se infiere que esta vegetación fue quemado, al reflexionar, sobre el ambiente que existió, es necesario considerar que en esta época geológica en que nació la SP se desarrollaron varios eventos volcánicos, los que pudieron provocar incendios en los bosques existentes en las inmediaciones, siendo el bosque víctima de uno de ellos, se descarta la posibilidad de incendios provocados por el hombre, porque no hay evidencia de la presencia del mismo en este periodo de tiempo.

No fue posible practicar la dendrocronología, dado que las muestras fueron de un diámetro reducido.

Las muestras mejor conservadas y que fueron extraídas con el cuidado necesario para evitar su contaminación, fueron enviadas para obtener su edad usando el método del  $^{14}\text{C}$ , al laboratorio de Tucson Az, en Estados Unidos de Norteamérica y otras muestra a la Ciudad de México, en el Instituto de Antropología de la Universidad Nacional Autónoma de México, a un laboratorio especializado que como se explicó anteriormente implementa un método de centelleo líquido, que en teoría considera parámetros que el tradicional método de análisis por  $^{14}\text{C}$  no lo toma en cuenta, las muestras se mandaron a estos dos laboratorios para comparar sus resultados.

### **3.1.3.- Estratotectónica.**

Una vez realizadas las columnas estratigráficas de la zona más representativas de la SP, desde el punto de vista geocronológico, se observó que diferentes fallas, fracturas e inclinaciones afectaban a los estratos descritos en el apartado de tefracronología, que según fechamientos mandados a realizar revelan una edad de 38,170 años y 39,000 años, considerando la juventud de las capas estudiadas y determinando que estas estructuras geológicas afectaban a la totalidad de las mismas, solo se puede concluir que estas son posteriores a los depósitos, una edad dada por Mahood, sobre las tefras emitidas por el C El Colli que es de 27,000 años, indica que las fallas deben de ser menores a la edad

asignada a esta unidad, además las mismas en algunos casos presentan una reactivación hasta en cuatro eventos figura 2.2, esto se puede deducir, porque algunas de las fallas al momento de formarse, se separaban y el hueco formado, era rellenado por sedimentos transportados fluvialmente (los sedimentos están redondeados, son granulométricamente heterogéneos y no están litificados), formando capas verticales, es decir perpendiculares a los estratos cortados, pero en cada evento se formó una capa con una graduación diferenciable, es decir los fragmentos más finos están pegados a las paredes y los líticos más gruesos en la parte central, en una reactivación se repite esta graduación sedimentaria hasta en cuatro diferentes eventos. Todos estos eventos se asocian al levantamiento de la cámara magmática que pliega el piso lacustre y en términos generales bascula en forma radial los domos más antiguos en la SP.

#### **3.1.4.- Sismología.**

Se consultó la bibliografía (Maciel-Flores, 1986a) existente sobre el tema, como lo es el libro de García-Acosta y Reynoso-Suarez, (1996) titulado Grandes Sismos en la Historia de México, en donde se refieren, los sismos históricos registrados para esta región, sin que sepueda definir los epicentros de estos.

Se instaló (Maciel, 2000) durante un año (periodo de agosto de 1999 a julio de 2000), tres sismógrafos analógicos en las inmediaciones de la Sierra de la Primavera (figura 3.4), los que se movieron de acuerdo a los ruidos presentes.

El estudio fue realizado a fin de conocer el régimen de sismicidad en el área de circundante a la SP, para captar mejor cualquier sismo, se ajusto la ubicación de las estaciones, solo una de las estaciones no se movieron, está permaneció en el Municipio de Tlajomulco de Zúñiga, donde existen diferentes fallas consideradas recientes, para tratar de identificar cualquier actividad de fallas recientes en la región, se instaló durante un año, una red sismológica compuesta por tres sismógrafos analógicos de registro continuo en papel ahumado y tres verticales; capaz de registrar cualquier evento sísmico

de 1.5 grados de magnitud o mayor. El diseño de la red se llevó a cabo y se definió de forma que el área de interés queda cubierta por el arreglo geométrico de la red.

Las áreas factibles para instalar las estaciones sismológicas se seleccionaron en planos topográficos geológicos en donde se ubican las principales estructuras (figura 1.6), se realizaron recorridos de campo con el propósito de elegir los sitios idóneos, en función del nivel de ruido ambiental y determinar los parámetros de operación en cada sitio visitado.

Del análisis anterior se concluyó que los sitios Cuexcomatlán, El Molino y La Esperanza, ubicados en las poblaciones del mismo nombre reunían las mejores condiciones para cumplir el objetivo propuesto.

En la región se tienen fallas definidas como recientes, dentro y fuera de la Sierra de la Primavera, pero se desconoce su actividad, después de hacer las mediciones en este periodo de tiempo, se lograron determinar 46 sismos locales, con una magnitud máxima de 3.55. No se logró asociar la sismicidad detectada con alguna falla de la SP.

#### Información obtenida

Durante el periodo del 1 de Agosto de 1999 al 31 de Julio del 2000, la Red Sismológica Tlajomulco de Zúñiga registró un total de 175 sismos. Como la razón de este trabajo fue conocer la sismicidad que se origina en el área de interés, se definió como sismicidad local, los sismos que tuvieran una diferencia de arribo de onda S con respecto a la onda P menor a 7 segundos (aproximadamente 56 Km. de distancia a la estación de registro) y sismicidad regional y telesismos, a los sismos con una diferencia de arribo de la onda S con respecto a la onda P mayor a 7 segundos. De esta forma durante el periodo de registro y de acuerdo a los criterios anteriores, se registraron 103 sismos locales y 72 regionales y telesismos.

### Localización epicentral.

Se realizó la localización epicentral de todos los sismos que se registraron en por lo menos 2 estaciones de la red. Para ello se leyeron los arribos de las ondas P y S y la duración del sismo (coda). Los datos se corrigieron por deriva instrumental y se procesaron por medio del programa HYPO71, usando el modelo de la corteza definido para la zona de estudio.

Para encontrar la génesis de la sismicidad local, se tomaron en cuenta tres aspectos: la hora de ocurrencia, la forma del sismo y los resultados del proceso matemático realizado. De esta forma se encontró que 28 de los 44 sismos locales localizados coinciden en el intervalo de tiempo de las 12:00 a las 20:00 hrs., así mismo la localización que arroja el programa HYPO71, los circunscribe a un área comprendida entre las estaciones La Esperanza y Cuexcomatitlán, esto es cerca de los bancos de

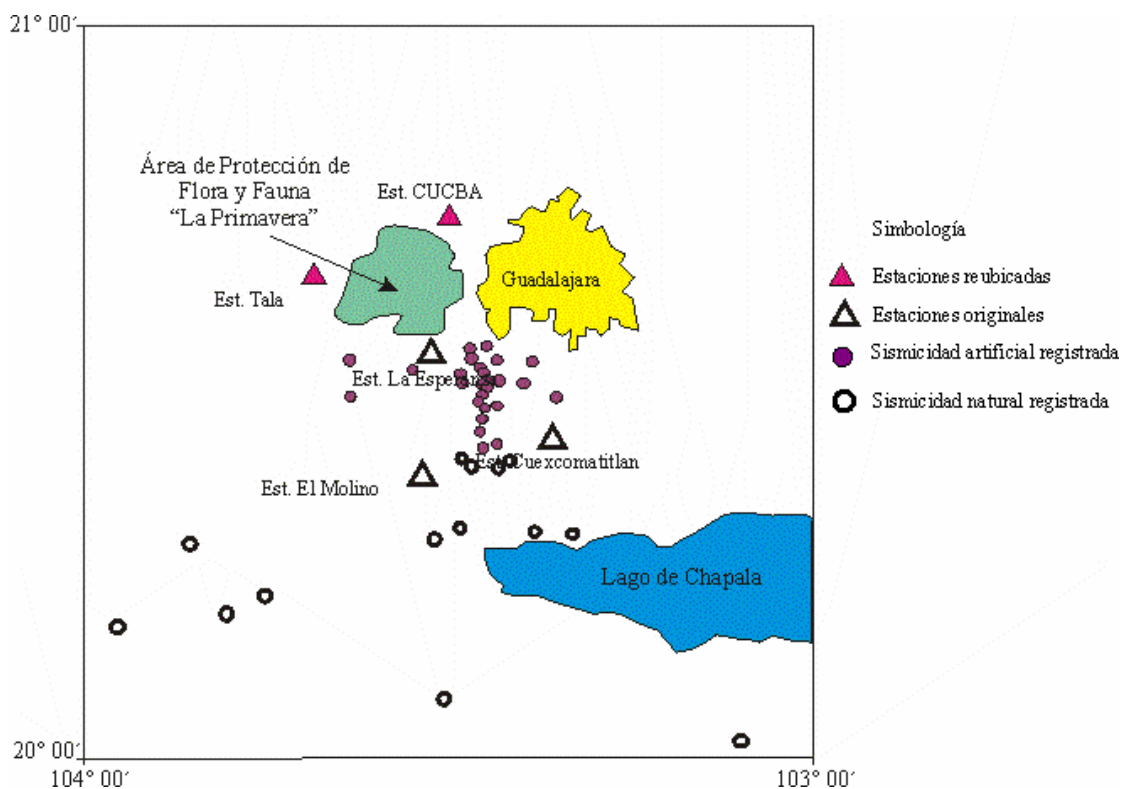


Figura 3.4.- Eventos sísmicos registrados (Maciel, 2000), periodo septiembre de 1999 a agosto del 2000.

material visitados. Por lo anterior se puede asociar el origen de los mismos al uso de explosivos en la zona.

Para los 16 sismos restantes, que se ubican en la figura 3.4 se muestran con un círculo lleno, la localización obtenida los ubica fuera del área de interés. En la misma se observa dos grupos de sismos, uno en las inmediaciones del Lago de Chapala y otro, a la izquierda del mismo. El primer grupo puede deber su origen a movimientos en el Graben de Chapala y la Triple unión (Nieto, 2000; Rosas-Elguera *et al.* 1989 y Serpa *et al.* 1991). Mientras que el segundo puede estar asociado al Graben Tepic-Chapala (García-Acosta y Reynoso-Suarez, 1996). Es importante apuntar que estos sismos se encuentran fuera de la cobertura de la red por lo que la localización aquí reportada debe tomarse con reserva.

Con base a los resultados aquí presentados se puede concluir lo siguiente:

Se instaló (Maciel, 2000) durante un año (agosto de 1999 a julio de 2000), tres sismógrafos analógicos en las inmediaciones de la Sierra de la Primavera (figura 3.4), los que se movieron de acuerdo a los ruidos presentes.

La sismicidad que se presentó dentro del área de cobertura de la red, debió su origen principalmente al uso de explosivos de bancos de material de la región.

El estudio fue realizado a fin de conocer el régimen de sismicidad en el área de circundante a la SP, para captar mejor cualquier sismo, se instaló una red sismológica compuesta por tres sismógrafos analógicos de registro continuo en papel ahumado y tres verticales; capaz de registrar cualquier evento sísmico de 1.5 grados de magnitud o mayor.

Los sismos detectados presentados en la figura 3.4 se observa dos grupos de sismos, uno en las inmediaciones del Lago de Chapala y otro, a la izquierda del mismo. El primer grupo puede deber su origen a movimientos en el Graben de Chapala, cerca de la Unión



Triple (Nieto, 2000; Rosas-Elguera *et al.* 1989 y Serpa *et al.* 1991), mientras que el segundo puede estar asociado solo al Graben Tepic-Chapala (García-Acosta y Reynoso-Suarez, 1996), es importante apuntar que estos sismos se encuentran fuera de la cobertura de la red por lo que la localización aquí reportada debe tomarse con reserva. Con base a estos resultados aquí presentados se puede inferir que la sismicidad puede estar asociada a movimientos tectónicos naturales, específicamente en los Graben de Chapala, Tepic-Chapala y la región de la unión triple (figura 1.6). Sin embargo esto último debe tomarse con reserva.

No se logró medir ningún enjambre de sismos como para tener elementos y definir una asociación entre epicentros y fallas existentes en la SP. Por lo que se concluye que las fallas de la región no registraron una sismicidad activa durante el periodo estudiado.

Al comparar los resultados obtenidos a la fecha, con los reportados por el Sistema Sismológico Nacional (SSN), se aprecia una diferencia en cuanto a eventos sísmicos y magnitudes registradas, esto se presenta en el cuadro 2.1.

Esta diferencia puede ser por el arreglo de las estaciones sismológicas que el SSN tiene, el cual para cubrir todo el territorio nacional, están muy distantes unas de otras y el arreglo que fue programado para el estudio realizado en la SP las estaciones se ubicaron en forma triangular para tener mayor percepción y exactitud en la detección de eventos sísmicos. Históricamente el SSN, de 1990 a 2006, tiene hasta 28 sismos registrados de una magnitud de 4 en el periodo de 1990 a 2006 (figura 3.5).

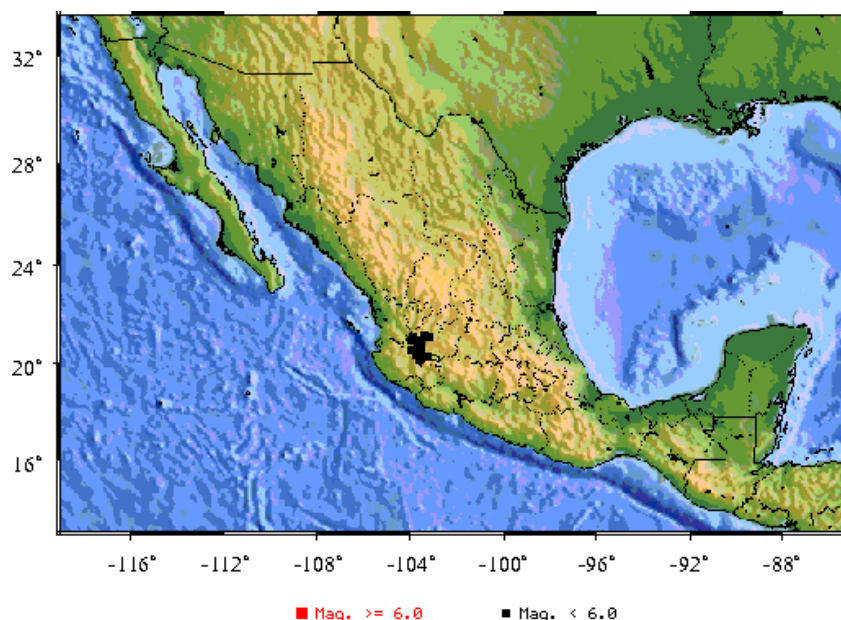


Figura 3.5.- Localización de sismos de 1990 a 2006.

Los 16 sismos registrados en un año cual indica que esta es una zona tectónicamente activa, es necesario citar que dos de estos sismos se generaron en las inmediaciones de la Caldera de la Primavera.

Lo cual indica que esta es una zona tectónicamente activa y además es necesario citar que dos de estos sismos están directamente asociados a la Caldera de la Primavera.

### 3.1.5.- Tefracronología.

Para conocer la estratigrafía, se realizó un reconocimiento en toda la SP y a partir del mismo se identificó un área representativa, para realizar un trabajo de tefracronología esta área es sobre el arroyo de Arena Grande dentro de la depresión conocida como el Bajío que tiene como referencia la intersección de la Carretera Guadalajara a Tepic y el Periférico de Guadalajara, como se indica en la figura 1.4, y ahí se describieron un total de 24 capas de tefras y depósitos vulcano sedimentarios existentes, que sobreyacen al basamento local que es la ignimbrita “Toba Tala”, en este arroyo en particular al subir topográficamente se baja estratigráficamente, esto es debido a que los estratos presentan inclinaciones de 2° a 35°

(fotografía 2.3 y figura 2.1), en este arroyo se identificaron al menos cuatro capas con restos de carbón y presencia de fósiles de plantas (fotografía 2.1 y 2.2), la mayoría son depósitos lacustres, y una de estas tiene como característica la presencia de pómez gigante fácilmente distinguible, misma que se pudo identificar en varias partes de la SP, esta se georeferencio tanto en este arroyo como en la parte central del paleo-lago, para medir las deformaciones desarrolladas en la caldera.

La estratigrafía medida, como se puede apreciar en la figura 2.1, da como resultado que existen un total de 51.25 metros de espesor en la mejor localidad, lo cual es un 10% de lo que se ha medido en la parte central de la SP, por medio de la perforación de pozos profundos (Maciel y Rosas 1992), donde se aprecian la mayor parte de las capas. De estas, ocho son depósitos fluviales, tres son capas de tefras de caída aérea, dos más son tefras que muestran un pobre movimiento por medio de agua de sus componentes, otros tres son depósitos lacustres, dos más son depósitos lacustres con pómez gigantes, cuatro capas son sedimentos con alto contenido de carbón y en la base una brecha volcánica. Como basamento local estratigráfico, aflora por falla, una ignimbrita, la cual es conocida como Toba Tala.

Para la estratigrafía de detalle en los sitios de particular interés, que fueron en los límites de la caldera y en la parte central de la misma, se ubicaron con un GPS de precisión todas las columnas estratigráficas estudiadas, se midieron poco más de 50 metros de estratos diversos, con un distancio metro láser y con los datos topográficos recolectados se realizaron secciones estratigráficas, las cuales se correlacionaron entre sí.

Al medir la inclinación de las capas, es posible medir que las más jóvenes presentan una ligera inclinación de 2° mientras que bajando estratigraficamente esta inclinación aumenta hasta 35°, llegando a existir contactos entre dos capas con diferente inclinación, invariablemente las más antiguas son las más inclinadas y las más jóvenes están menos inclinadas, lo que indica que el levantamiento inicio cuando las primeras capas fueron depositadas y este continuo hasta el deposito de las últimas capas de tefras, por lo que las primeras en depositarse registraron todo el levantamiento del lecho del vaso lacustre.

Aún cuando todo el estudio fue realizado dentro de lo que se considera la caldera de La Primavera, en los estratos jóvenes no se registra un gran número de fallas, pero a medida que se acerca a la parte central de la sierra, aumenta el número de fallas. El espesor de las capas es variable, la sección medida puede considerarse una de las orillas del extinto lago, pero en la parte central del mismo no afloran todas las capas registradas en el Bajío, en la parte central afloran solo los estratos más antiguos, que son prácticamente solo los depósitos lacustres, en esta parte fue donde se perforaron los pozos geotérmicos por parte de la CFE, el espesor llega ser hasta de 40 metros y sobreyacen a la Toba Tala, que reporta espesores de 280 metros (figura 1.7).

### **3.2.- Vegetación del Bosque La Primavera**

La información de la diversidad vegetal del Área de Protección de Flora y Fauna La Primavera (Reyna 2005), se ve influenciada por estar comprendida en la zona de traslape de dos provincias florísticas: la de la SMO y la FVM. A su vez, estas provincias se localizan en la Región Mesoamericana de Montaña, formada por la confluencia entre dos grandes reinos: el Neártico y el Neotropical.

En el bosque se encuentran cuatro tipos de vegetación de acuerdo a la clasificación de Rzedowski (1978) siendo los siguientes: Bosque de Encino (*Quercus*); Bosque de (mixto) Encino-Pino (*Quercus-Pinus*); Bosque de Pino (*Pinus*) y Bosque Tropical Caducifolio; así como tres comunidades vegetales (Riparia, Rupícola, y Ruderal), que se ubican en los diferentes tipos de vegetación antes mencionados (Huerta y Guerrero, 2004).

#### **Especies predominantes**

Reyna (2005), reporta para el Bosque La Primavera, que el estrato arbóreo esta representado por dos especies de pinos: el ocote (*Pinus oocarpa*), que es el más frecuente y el ocote escobetón (*Pinus devoniana*), menos abundante es el ocote douglas

(*Pinus douglasiana*), los cuales se asocian comúnmente con varias especies de encino *Quercus spp* y el palo batea *Clethra rosei*.

El encinar cubre en su mayor parte la sierra La Primavera formando asociaciones con el bosque de pino y con el bosque tropical caducifolio. En el estrato arbóreo (cuadro 3.3), las especies principales son: los robles de hoja ancha *Quercus resinosa*, *Q. coccolobifolia*, *Q. obtusata*, *Q. rugosa* y *Q. magnolifolia*, entre otras. De los encinos de hoja angosta se encuentran los *Quercus castanea*, *Q. viminea* y *Q. gentryi*, asociado con los encinos, encontramos el madroño (*Arbutus xalapensis*), malvaste (*Clethra rosei*) y ocote (*Pinus oocarpa*) (Reyna 2005).

Con respecto al Bosque Tropical Caducifolio, Reyna (2005) dice que este tipo de vegetación lo constituyen las especies arbóreas que pierden sus hojas en la época seca del año. Reyna dice que esta comunidad presenta bajas proporciones dentro de la sierra y que su área de distribución es muy restringida comparada con la de otras comunidades vegetales presentes en el bosque. Menciona que el estrato arbóreo en el Bosque La Primavera esta compuesto predominantemente por los zacate o higueras tales como: *Ficus continifolia* y *F. petiolaris*, asociado con diversos robles, encinos y con el malvaste.

El arbolado presente pero no predominante, es el que se describe a continuación:

Cuadro 3.3 Arbolado presente, no predominante en la SP.

Familia		Nombre común
Apocynaceae	<i>Plumeria rubra L.</i>	“cacalosúchil”, “corpeña”
Betulaceae	<i>Alnus firmifolia Fernald</i>	“aile”, “aliso”
Bombacaceae	<i>Ceiba aesculifolia Kunth</i>	“pochote”
Clethraceae	<i>Clethra rosei Britton</i>	“malvaste”, “flor de tila”
Convolvulaceae	<i>Ipomea intrapilosa Rose</i>	“palo bobo”, “cazahuate”, “ozote”
Ericaceae	<i>Agarista mexicana (Hemsley) Judo var.</i> <i>Pinetorum./Stanley &amp; Williams) Judd</i>	“palo santo”

Ericaceae	<i>Arbutus glandulosa</i> M. Martens & Galeotti	“madroño”
Ericaceae	<i>Arbutus zalapensis</i> Kunth	“madroño”
Ericaceae	<i>Bafaria mexicana</i> Benth.	“azalea”
Ericaceae	<i>Comarostaphylis glaucescens</i> (Kunth) Zucc. Ex Klotz	“madroño”, “palo colorado”
Fagaceae	<i>Quercus castanea</i> Née	“encino colorado”, “encino negro”
Fagaceae	<i>Quercus coccolobifolia</i> Trel.	“roble”
Fagaceae	<i>Quercus gentryi</i> C. H. Mull.	“encino colorado”, “encino chilillo”
Fagaceae	<i>Quercus laeta</i> Liebm.	“encino colorado”
Fagaceae	<i>Quercus magnolifolia</i> Née	“roble”, “roble amarillo”
Fagaceae	<i>Quercus obtusata</i> Humb & Bompl.	“roble”, “encino roble”, “encino blanco”
Fagaceae	<i>Quercus praineana</i> Trel.	“encino colorado”
Fagaceae	<i>Quercus resinosa</i> Liebm.	“roble”, “encino roble”
Fagaceae	<i>Quercus rugosa</i> Née	“encino roble”,
Fagaceae	<i>Quercus subspathulata</i> Trel.	“encino borrego”
Fagaceae	<i>Quercus viminea</i> Trel.	“encino”, “encino saucillo”
Lauraceae	<i>Litsea glaucescens</i> Kunth	“laurel”
Leguminosae	<i>Lysiloma acapulcense</i> (Kunth) Benth.	“tepehuaje”
Leguminosae	<i>Pithecellobium dulce</i> (Roxb.) Benth.	“huamúchil”, “guamúchil”
Loganiaceae	<i>Buddleja sessiliflora</i> Kunth	“tepozán”
Magnoliaceae	<i>Magnolia pugana</i> (H. H. Ildis & A. Vázquez) A. Vázquez & Carbajal	“magnolia”
Meliaceae	<i>Cadrela dugesii</i> S. Watson	“cedro rojo”
Moraceae	<i>Ficus continifolia</i> Kunth	“camichín”, “higuera”
Moraceae	<i>Ficus petiolaris</i> Kunth	“amate”, “texcalame”, “texcalama”
Myrtaceae	<i>Psidium guajava</i> L.	“guayaba”
Pinaceae	<i>Pinus devoniana</i> Lindl.	“ocote escobetón”
Pinaceae	<i>Pinus douglasiana</i> Martínez	“ocote”
Pinaceae	<i>Pinus lumholtzii</i> B. L. Rob. & Fernald	“pino triste”, pino llorón”
Pinaceae	<i>Pinus luzmariae</i> Pérez de la Rosa	“ocote triste”
Pinaceae	<i>Pinus oocarpa</i> Schiede ex Schltdl.	“ocote”
Rhamnaceae	<i>Karwinskia latifolia</i> Standl.	“tullidota”

Rosaceae	<i>Prunus serotina</i> Ehrh. Subs. <i>capuli</i> (Cav.) McVaugh	“capulín”
Rutaceae	<i>Casimiroa edulis</i> La Llave & Lex.	“zapote blanco”
Salicaceae	<i>Salix humboldtiana</i> Willd.	“sauz”, “sauce”
Solanaceae	<i>Nicotina glauca</i> Gram.	“tabaquillo”, “tabaco cimarrón”

Flora. Hasta la fecha dentro del área de estudio se han registrado 954 taxa de plantas vasculares, agrupadas en 6 Divisiones, 108 Familias y 428 géneros a la fecha se encuentra.

De la familia Pinaceae, se encuentra conformada por cinco especies, siendo estos pinos *oocarpa*, *lunholtzii douglasiana*, *devoniana*, *luzmariae*.

Las Divisiones *Psilotophyta*, *Equisetophyta*, *Lycopodiophyta*, *Polypodiophyta* y *Pinophyta*, en su conjunto contribuyen pobremente en la flora con tan sólo 21 taxa (2.20% del total). La División *Magnoliophyta* es la más importante dentro de la región con 933 taxa, siendo la clase *Magnoliopsida* la que contribuye mayormente con 438 y la clase *Liliopsida* con 288 taxa, conformando ambas el 76.02 % del total de taxa.

De las 108 familias registradas, en tan sólo 6 familias podremos encontrar 557 taxa, lo que constituye más de la mitad (58.37%) del total de taxa agrupadas en 202 diferentes géneros. Las familias más importantes por su diversidad son *Gramineae*, *Compositae* y *Leguminosae*, las cuales constituyen un 18.76, 15.72 y 11.74% respectivamente.

Como ejemplo del valor florístico de este bosque se pueden mencionar algunos ejemplares poco comunes en el área: *Pinus luzmariae*, cuya población se encuentra restringida a una pequeña porción del bosque. Las orquídeas terrestres son abundantes y representan un caso excepcional por su diversidad, siendo el género *Bletia* el más representativo (Reyna, 2005).

Por ser tan reciente el origen geológico del bosque La Primavera, entre los componentes de su flora no existen elementos endémicos; no obstante, puesto que algunas especies endémicas de la región de la Nueva Galicia, como *Mammillaria jaliscana* y *Agave*

*guadalajarana*, son abundantes en el área protegida, ésta constituye un reservorio natural para dichas especies (Reyna, 2005).

Cabe mencionar además la gran diversidad de la familia Fagaceae, de la que a pesar de estar representada por sólo un género (*Quercus*), se han registrado 11 taxa diferentes (Reyna, 2005).

Considerando la anterior información se puede presentar el cuadro 3.4 en el que se presentan el nombre de las especies de los fósiles encontrados y se contraponen con la información recopilada para determinar si existen estas especies de árboles actualmente en la zona (Reyna, 2005).

Cuadro 3.4 Especies fósiles registradas en la Sierra de La Primavera.

<b>Especie encontrada como fósil</b>	<b>Especie presente en la SP</b>	<b>Especie presente en la SB</b>
<i>Pinus montezumae</i> Lamb.		X
<i>Pinus durangensis</i> Martínez		X
<i>Pinus leiophylla</i> Schiede ex Schltdl. & Cham.		X
<i>Pinus luzmariae</i> Pérez de la Rosa	X	X
<i>Pinus teocote</i> . Schltdl & Cham.		X
<i>Pinus douglasiana</i> Martínez.	X	X

### 3.4.- Clima.

Actualmente se tienen registros climatológicos de las dos zonas de interés que son la SP y la Sierra de Bolaños (Villalpando y García, 1993), en donde se encontraron en forma respectiva, los fósiles de pino y la comunidad de pinos actualmente vivos, estos datos son expuestos en el cuadro 3.5, ahí se puede apreciar la variación entre una y otra localidad, de igual manera se realizó la figura 3.3 que es un perfil topográfico para



ubicar ambos sitios, en el se puede apreciar el desnivel actual que se presenta entre ambos sitios, pero además las cañadas que los separan, en este punto es necesario mencionar que no se considera que las barrancas hayan tenido el desnivel actual, dado que la erosión ha ejercido su acción y aumentado la profundidad de estas. De igual manera también es necesario citar que la frontera de la vegetación pudo recorrerse hacia el norte pero no necesariamente siguiendo una línea recta hacia la SB, se infiere que el bosque de pino (figura 3.2), pudo haber avanzado en forma masiva pero sin incursionar por las partes profundas, es decir por el lado oriente del RGS.

Integrando la información antes expuesta podemos decir que en el cuadro 1.1, Tabla del Tiempo Geológico, presenta las glaciaciones registradas a nivel mundial, las cuales son cuatro, dentro de estas, la más reciente se ubica en el Cuaternario.

Cuadro 3.5.- Datos climatológicos de la SP y SB

Localidad	Primavera	Sierra de Bolaños
Latitud y Longitud	20° 39' /104°34'	24° 51' / 103° 50'
Altura	2000 msnm	2640 msnm
Clave del Mpio.	120	61
Estación Meteorológica	123	
T° media	18-22°	14-18°
T° máxima	26-30°	22-26°
T° mínima	14-18°	14-18°
Amplitud térmica	14-16°	12-14°
T° diurna	22-26°	22-26°
T° nocturna	14-18°	14-18°
T° media anual	18-20°	menor 18°
T° máxima anual	26-30°	22-26°
T° mínima anual	10-12°	menor 10°
Pp Jun-Oct	600-800	800-1200
Pp Julio	150-200	150-200
Pp anual	600-800	500-600
Evaporación Jun-Oct	800-900	700-800
Evaporación anual	mayor 2200	2000-2200
Índice de humedad Jun-Oct	0.8-1.2	0.8-1.2

Índice de humedad Agst-Spt	0.8-1.2	menor 0.8
Índice de humedad anual	0.4-0.8	menor 0.4
Fecha de inicio P. húmedo	Jul 16-31	Agosto 1-15
Fecha de termino	Sept 16-30	Sept 1- 15
Duración del periodo húmedo	60-90 días	60-90 días

Fuente: Villalpando F., García E. 1993. Agroclimatología del Estado de Jalisco.

Universidad de Guadalajara, CUCBA, Lab. Bosque La Primavera. México.

Al confrontar esta información con la presentada en las figuras 1.2 y 1.3 (de igual forma se ubica el lapso de tiempo considerado para la formación de la SP), es posible apreciar que existe una concordancia de la información sobre la presencia de una glaciación en el Cuaternario, y que dentro del periodo considerado del mismo, se formó la SP. Considerando las edades obtenidas de los fósiles y tomando a la vegetación como un bioindicador es posible afirmar que la temperatura que existió cuando el bosque de pino se desarrollo en la SP, es decir durante los últimos 40,000 años es diferente a la actual. Por otra parte en la figura 3.3, se aprecia el desnivel actual existente entre la SB y la SP, de igual forma considerando la información climatológica actual de estas dos localidades se puede comparar la diferencia significativa entre la temperatura y la precipitación pluvial entre ambas localidades, por lo que se fundamenta que la temperatura que prevaleció en la SP durante su formación (Pleistoceno tardío) es similar a la que se encuentra actualmente en la SB. Es importante señalar que al hablar de una época de glaciación, no significa que en nuestra área de estudio, haya existido una capa de hielo, pero la influencia que generó esta glaciación a nivel mundial sobre el clima, si afecto nuestra área de estudio.

El concepto de estabilidad que se maneja en las figuras 1.2 y 1.3, es aparente y resulta de la simplificación de las magnitudes del tiempo y el espacio que hacemos en función de nuestra breve presencia en la Tierra. En el periodo Cuaternario como se ilustra en la figura 1.2 se produjeron glaciaciones que duraron cada una algunas decenas de miles de años. Hubo etapas de retroceso de los hielos que no significaron el fin de la glaciación en sí; duraron algunos miles de años para después volver a condiciones semejantes a las actuales.

Es probable, que vivamos una breve etapa interglacial y la tendencia es al enfriamiento. Este es un proceso natural que de ser real, se produciría el avance de los hielos sobre las tierras habitadas del norte en decenas de años, cientos o miles.

Una variación de temperatura, equivalente al que ha ocurrido en los últimos 80 000 años, tendría un efecto negativo en la agricultura y ecosistemas en forma significativa (Saltzman, 2000), además se produciría una variación en el nivel del mar, la extinción de muchas especies de plantas y animales. Todo esto significa una modificación total de los ecosistemas .

#### 4. RESULTADOS

De la recopilación integración y análisis de la información sobre: geología, vegetación, paleontología, climatología, morfología, así como la generada por medio del trabajo de campo desarrollado sobre discusión con especialistas, es posible, en resumen llegar a los siguientes resultados.

Aún cuando el área de la SP es de 340 km<sup>2</sup>, se estudiaron más de 700 Km para identificar hasta donde fue la influencia de la emisión de las tefras, durante las etapas eruptivas de este centro volcánico, pero también fue necesario visitar y estudiar otras localidades con ciertas similitudes, como fue la Isla Isabel y la caldera de Santa María del Oro ambas en el estado de Nayarit.

Posterior a la violenta erupción volcánica que se generó en el lugar que hoy ocupa la SP, se formó una caldera, dentro de esta depresión se formó un lago, el cual fue intermitente, debido a la caída de tefras y a la precipitación pluvial anual, como se demuestra a partir de las columnas lito-estratigráficas que conforman el estudio de tefracronología realizado, el cual muestra que existe una alternancia de depósitos vulcano-sedimentarios, fluviales y de tefras de caída aérea, durante el periodo de tiempo que duro este lago, se formaron domos riolíticos, dentro del lago y sus inmediaciones donde se inicio el desarrollo de un bosque, al mismo tiempo se dio una resurgencia de la cámara magmática, lo que provocó un plegamiento de las capas que conformaron el lecho de este lago y de los domos, dando lugar a un plegamiento mayor en los estratos más antiguos y menor en los más jóvenes, antes de que terminara esta resurgencia, uno de los francos de esta caldera falló, lo que generó un derrame de los sedimentos y salida del agua por la parte sur de la SP, en la etapa final de esta resurgencia se formó el último de los domos que es el denominado C. Colli. El plegamiento generado, fracturó o falló los estratos antes depositados.

La SP fue formada mayormente durante el Pleistoceno, encontrando durante el trabajo de campotas de 22 domos, dado que algunos como el Poleo, esta parcialmente sepultado

y otros solo se puede inferir su presencia por el análisis de la información obtenida durante la exploración directa llevada a cabo por la CFE, el periodo de mayor actividad fue de 126,000 a 27,000 años, la creación de una caldera fue aproximadamente a los  $110 \pm 15$  mil años.

Principalmente dentro de la SP hay estructuras geológicas (fallas y fracturas) con un trend NNE y NNW, sin embargo en la prospección realizada en bancos de material geológico fuera del área de trabajo San Isidro Mazatepec, se encontraron fallas recientes que afectan a los sedimentos que se vertieron en el flanco sur de la SP, al resurgir la cámara magmática. Existen en algunas fallas hasta cuatro periodos de reactivación, las mismas cortan estratos jóvenes a los que se les asigna una edad de 27,000 años, históricamente se han registrado, por parte del SSN, dos eventos sísmicos asociados a la caldera. Todos estos eventos han contribuido a la modificación de la morfología de la SP.

El trabajo de tefracronología realizado sobre el arroyo de Arena Grande y Arena Chica, describen 24 estratos constituidos por tefras, depósitos fluviales y vulcánico - lacustres, que suman más de 51 metros de espesor, al caminar ascendiendo se baja estratigráficamente, en los estratos más jóvenes se presentan inclinaciones de  $2^\circ$  y  $35^\circ$  en los más antiguos, en estos existe la evidencia de un paleo lago formado dentro de la caldera, el cual fue intermitente por condiciones climáticas y caída de tefras. La parte central del piso de este lago, localizado en la zona donde se realizaron los pozos geotérmicos, se ha elevado más de 149 m si consideramos que el piso del lago tuviera una pendiente cero, lo cual es poco factible por observaciones hechas en el cráter de la Isla Isabel y en el cráter de Santa María del Oro, este lago de la SP desapareció aparentemente antes de que terminara la actividad volcánica por el desbordamiento provocado por el levantamiento del mismo generado a su vez por la resurgencia de la cámara magmática y los cambios climáticos ocurridos en el Pleistoceno, que provocaron que disminuyera la humedad.

La estratigrafía destaca dos capas con la presencia de pómez gigante, las cuales son fáciles de identificar en campo y se usaron como tefras índice, mismas que fueron georeferenciadas para medir el levantamiento del piso del lago, además existen cuatro importantes estratos con carbón producto de restos fósiles de pastos y pinos (conos, acículas y ramas), mediante el uso de laboratorios que manejan el método de  $^{14}\text{C}$ , fue posible obtener la edad de los fósiles para esta investigación reportan una edad 38,170 años a 39,000 años AC.

La clasificación de restos de conos, acículas y ramas que constituyen los fósiles, permitió identificar que las especies que existieron en la SP fueron *Pinus durangensis* Martínez, *Pinus leiophylla* Schiede ex Schltdl. & Cham., *Pinus montezumae* Lamb., *Pinus luzmariae* Pérez de la Rosa, *Pinus teocote* Schltdl. & Cham. y *Pinus douglasiana* Martínez. Esta comunidad de pinos como tal ya desapareció quedando en la SP solo dos de ellas, que son la *Pinus luzmariae* Pérez de la Rosa y la *Pinus douglasiana* Martínez. La comunidad de pinos con estas especies, más cercana como tal, está en la Sierra de Bolaños (SB), que se ubica a 177 km al noroeste de la SP y 850 m más alto (2500 msnm) de la SP, la información climatológica presentada muestra que la SB es más húmeda y fría que la SP, esto puede asociarse a lo que se ha denominado un movimiento de la frontera de la vegetación, asociado a cambios climáticos globales.

Comparando las características del clima de la comunidad representada por la vegetación fósil que es similar a la presente en la SB, se deduce que la temperatura en la SP, se ha incrementado del orden de 2° a 3° C y la precipitación disminuyó entre 100 y 200 mm. Esto a partir del Pleistoceno superior, es decir después de que los árboles fósiles se encontraban en la SP (38 a 39 mil años). Se han encontrado solo restos de un bosque de pino y pastos, actualmente es de pino - encino.

Se enviaron los fósiles a fin de obtener las correspondientes edades por medio del método de  $^{14}\text{C}$ , a la Universidad de Tucson obteniendo los resultados presentados en el cuadro 3.2.

## 5. DISCUSIÓN

Desde el punto de vista fisiográfico como se muestra en la figura 1.5 de Provincias Fisiográficas de México, la SMO (Maciel-Flores, 1986 b) es la provincia adyacente a la SP, su importancia es que, como se cita en figuras previas de localización (figura 1.4), es en esta donde actualmente se encuentra la comunidad de pinos que existió hace 40,000 años en la SP, la primera se extiende en territorio nacional desde Sonora hasta Jalisco por más de 1 000 km, es en sí, una gran meseta, con un promedio de altitud de 2,000 a 2,800 msnm, mientras que la provincia fisiográfica conocida como la FVM, su relieve lo forma un conjunto de planicies escalonadas que van desde los 500-800 msnm en Colima y Nayarit a los 2 600 msnm en Toluca (Venegas et al. 1985 y De la Fuente. y Verma 1993), como se aprecia en el perfil desarrollado entre la SP y la SB, la topografía actual es abrupta, pero no fue la que prevaleció hace 40,000 años, es necesario considerar el factor de erosión para trazar un paleo relieve y hacer una comparación de ambos relieves y definir si existió la factibilidad de que esta comunidad de pinos habitara todo este espacio o bien si al desplazarse este lo hiciera en forma lineal.

No se encontró en la bibliografía consultada, antes citada, información específica sobre las características agroclimatológicas de cada una de las especies, es decir cual es el rango de tolerancia considerando cada una de las variables agroclimatológicas incluyendo la edáfica de estas especies de pinos, a esto hay que sumar que no existe en México el número deseado de estaciones climatológicas, por lo que cuando se solicita a la Comisión Nacional del Agua o al Instituto de Meteorología, la mayoría de las veces se da información que se extrapola con estaciones regionales cercanas, por lo que los microclimas que existen en cañadas o parte aguas no son medidos con precisión, por lo que se considera que los datos presentados hay que tomarlos con cierta reserva, hasta obtener principalmente estos rangos de tolerancia para los pinos que ahora se están tomando como bioindicadores.

Con relación de calderas en otras localidades con un lago en su interior, aparentemente no existe una con esta característica en territorio nacional, que pueda ser estudiada en

forma comparativa, solo existen lagos dentro de cráteres y en bajos estructurales, en los dos casos estudiados que se ubican en la figura de localización previamente presentada no cuentan con la batimetría, por lo que se genero en forma preliminar la información de estas, identificando que son diferentes, en el caso del cráter lago de la Isla Isabel (Maciel et al. 2006), su lecho es sensiblemente plano y su profundidad es menor a 30 m, mientras que en otras como el cráter de Santa María del Oro su batimetría revela un cono profundo, por lo que su pendiente es fuerte y el lecho no es plano, una condición similar a esta ultima debió de haber sido lo que se presento en el lago de la SP, ya que al correlacionar la estratigrafía definida por medio de los pozos geotérmicos, con el trabajo de tefracronología realizado, en las márgenes del lago el espesor de sedimentos es de aproximadamente 50 m, mientras que lo encontrado en la parte central de la misma por medio de los pozos geotérmicos el espesor es mayor a los 400 m. Sin embargo los datos presentados aún no considera el procesamiento de la geología de subsuelo, ubicando en la misma los pozos profundos y las columnas estratigráficas realizadas, de igual forma falta por considerar los echados reales y aparentes de la estratigrafía medida, no se considero el tipo de desplazamientos (ángulo y tipo de falla) de las estructuras geológicas existentes en la SP para definir con precisión el plegamiento presentado en el paleolago.

Integrando la información antes expuesta y apoyándonos en las figuras presentadas sobre las variaciones de temperatura registradas hace 1 ma y 80,000 años así como en el cuadro sobre Tiempo Geológico, podemos decir que el clima ha variado a través de la historia de la Tierra, al grado de tener las glaciaciones, registradas a nivel mundial, las cuales se considera en forma genérica que son cuatro y dentro de estas, la mas reciente se ubica en el Cuaternario, al confrontar esta información, es posible apreciar que existe una concordancia de la información sobre la presencia de una glaciación en el Cuaternario, dentro del periodo considerado que se dio la formación de la SP. Considerando las edades obtenidas de los fósiles y tomando a la vegetación como un bioindicador es posible afirmar que las condiciones climáticas que existieron cuando el bosque de pino se desarrollo en la SP, es decir hace 40,000 años son diferentes a las actuales, por otra parte si consideramos el perfil entre la SP y la SB, se aprecia el



desnivel actual existente entre la SB y la SP, lo cual influye en la climatológica de estas dos localidades, la diferencia significativa entre la temperatura y la precipitación pluvial actual entre ambas localidades, fundamenta que la temperatura que prevaleció en la SP durante su formación (Pleistoceno tardío) es similar a la que se encuentra actualmente en la SB. Es importante señalar que al hablar de una época de glaciación, no significa que en nuestra área de estudio, haya existido una capa de hielo, pero la influencia que género esta glaciación a nivel mundial sobre el clima, si afecto nuestra área de estudio.

En este apartado es necesario comentar que no existe en México un estudio formal de la paleolimnología del cuaternario, por lo que se puede decir que la correlación de variaciones climáticas que se toman en el aspecto paleo climatología para este estudio son regionales, que tienen su validez, pero no son específicos de la región, sin embargo este tópico no esta bien controlada en la parte central de México. Esto llama la atención porque existe un lago ideal para tal estudio que es el Lago de Chapala, el cual ha tenido un depósito constante de sedimentos desde el Plioceno hasta nuestras fechas y debe de tener un registro interesante desde el punto de vista paleontológico y climatológico.

Hace más de 140,000 años, existía aún una glaciación. Posterior a la emisión de la denominada Toba Tala, y formación de una caldera, en un breve espacio de tiempo se creo un lago, tal vez dentro del lago aparecieron, como hoy existen, algunos manantiales termales, fumarolas y sulfataras. Con el tiempo y enfriamiento de la zona se debió de haber empezado a crear las condiciones propicias para que algunas plantas empezaran a colonizar. Al continuar tanto las erupciones volcánicas como la resurgencia de la cámara magmática, el lago desapareció y el microclima fue modificando por los CCG y la nueva morfología, en este estudio solo se usaron los macrofósiles, es necesario identificar los microfósiles existentes en los estratos con carbón y en aquellos con diatomeas para tener otros elementos de control, para otras variables como pueden ser la profundidad del lago y sus características físico químicas.

El concepto de temperatura promedio que manejan los autores citados en este trabajo, es en función de la recopilación de información principalmente en núcleos de hielo

procedentes de los polos y durante el tiempo que se tiene recopilando información instrumentalmente en nuestra breve presencia en la Tierra, no se tiene información sobre estudios hechos en los glaciares de México. En el periodo Cuaternario se produjeron glaciaciones que duraron cada una algunas decenas de miles de años. Hubo etapas de retroceso de los hielos que no significaron el fin de la glaciación en sí; duraron algunos miles de años para después volver a condiciones semejantes a las actuales. La presencia de estos fósiles no fue cuando existió la temperatura mas baja ni la más alta en la Tierra, solo marca señala que estas especies estaban presentes en la SP a los 40,000 años, si como se menciona antes se obtienen los rangos de tolerancia de estas especies, se podrá decir que condiciones climáticas existieron en este periodo de tiempo.

Es probable, que vivamos una breve etapa interglaciar y la tendencia sería al enfriamiento. Este es un proceso natural que de ser real, se produciría el avance de los hielos sobre las tierras habitadas del norte en decenas, cientos o miles de años. La predicción de estos rangos de tiempo pueden ser precisos o exactos en función de la información que sobre el aspecto paleoclimatológico se tenga para cada zona en específico.

Una variación hipotética de 5 grados que mencionan los diferentes autores consultados, equivalente al que ha ocurrido en los últimos 80 000 años, tendría un efecto negativo en la agricultura y algunos ecosistemas de los que dependemos, además se produciría una variación hasta de 120 m en el nivel del mar y la extinción de muchas especies de plantas y animales. Sin embargo en algunas zonas como son las cañadas y depresiones con lagos, las variaciones climáticas son reguladas por los cuerpos de aguas (Comm pers Dr. Manuel Guzmán Arroyo), por lo que seguramente esta variación no sería homogénea y ante una variación climática importante existirán zonas mas vulnerables y otras menos vulnerables a estos cambios, las cuales pueden servir como refugio para algunos ecosistemas. En el caso de estudio, la desaparicion de un lago, debio de generar un mayor impacto climatico en sus áreas inmediatas que si solo se hubiese presentado un CCG regional sin emabrgo no existe un estudio de caso para corroborarlo.

Posterior a la violenta erupción volcánica que se generó en el lugar que hoy ocupa la SP, se formó una caldera, dentro de esta depresión se formó un lago, el cual fue intermitente, debido a la caída de tefras y a la precipitación pluvial anual, como se demuestra a partir de las columnas lito-estratigráficas que conforman el estudio de tefracronología realizado, el cual muestra que existe una alternancia de depósitos vulcano-sedimentarios, fluviales y de tefras de caída aérea. Durante el periodo de tiempo que duró este lago, se formaron domos riolíticos, dentro del lago y sus inmediaciones donde se inició el desarrollo de un bosque, al mismo tiempo se dio una resurgencia de la cámara magmática, lo que provocó un plegamiento de las capas que conformaron el lecho de este lago y de los domos, dando lugar a un plegamiento mayor en el centro del paleolago afectando los estratos más antiguos en mayor grado y en menor grado a los más jóvenes, antes de que terminara esta resurgencia, uno de los flancos de esta caldera falló, lo que generó un derrame de los sedimentos y salida del agua por la parte sur de la SP, en la etapa final de esta resurgencia se formó el último de los domos que es el denominado C. Colli. El plegamiento generado, fracturó o falló los estratos antes depositados.

La observación y medición de la deformación hechos con un GPS de precisión en la parte central del paleolago de la SP, fue hecha en un tiempo breve, considerando el rango de error del aparato, para definir si existe aún movimientos.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De los cuatro estratos que contienen carbón y restos fósiles de pastos y pinos (conos, acículas y troncos), se logro identificar que principalmente los pinos y troncos corresponden a:

*Pinus durangensis* Martínez,

*Pinus leiophylla* Schlechtendal & Chamisso,

*Pinus montezumae* A. B. Lambert,

*Pinus luzmariae* Pérez de la Rosa,

*Pinus teocote*. Schlechtendal & Chamisso y

*Pinus douglasiana* Martínez.

Esta asociación de pinos ya no existe en la localidad y la frontera de vegetación con esta asociación, es la sierra de Bolaños, climatológicamente más húmeda y fría que la SP. No se logro identificar las especies de pastos fosilizados, por la mala conservación de los mismos.

Debido a un plegamiento positivo de la caldera, los estratos más recientes afloran en las partes bajas y cerca del perímetro del cráter lago y los más antiguos se ubican en las zonas altas y centrales del paleo-lago, que es la parte alta de la actual sierra.

Con las mediciones presentadas en el cuadro 3.1, se deduce que el lecho del lago se ha levantando mas de 149.56 metros de su nivel original. En tres años no se ha medido deformación alguna en la SP. Aún cuando se ha identificado fallas recientes con reactivación.

Las fallas de igual manera se midieron en el arroyo de Arena Grande (fotografías 5 y 6), en donde muestran una reactivación en cuatro veces, su trend en esta localidad es NNE y NNW.

Con base a los resultados aquí presentados se puede concluir lo siguiente:

Inicialmente el colapso que dio origen a la caldera de la Sierra de la Primavera, fue llenado de una mezcla de agua pluvial y agua geotérmica, así como fumarolas y sulfataras, lo que limitó la reproducción de vida.

Las secciones estrato-tectónicas realizadas indican que hubo épocas de estiaje en el lago. No existió en forma constante agua.

El lago desapareció antes de la total deformación de la Sierra de La Primavera.

El lago no ocupó la totalidad de la sierra, pero sí un área mayor de lo reportado.

El carbón solo ha sido observado en cuatro estratos

La desaparición del lago pudo estar relacionada a los siguientes parámetros:

- a) Evaporación;
- b) Presencia de fallas o fracturas geológicas que incrementaron la permeabilidad
- c) Fallamiento de uno de sus flancos.

La vida en el lago estuvo asociada a:

La calidad del aire y agua;

Cantidad de agua y

Eventos volcánicos.

La sección representativa del lago, es la porción NE de la sierra.

No se han encontrado un fósil índice.

No se han medido deformaciones en la sierra, usando el sistema de posicionamiento global, pero se logró mejorar su uso, el error se ha reducido a dos milímetros en x e y, para z permanece en 5 milímetros.

La deformación fue mayor cuando recién se formó la caldera, pero continúa hasta nuestros días, las fallas presentes son activas.

Es necesario continuar con el estudio de las diatomeas existentes en sedimentos lacustres.

**REFERENCIAS.**

- Alatorre-Zamora, M.**, 1992, La Primavera Caldera (México): Structure inferred from gravity and hydrogeological considerations. *Geofísica Internacional*, Vol. 31, Num. 4, pp. 371-382.
- Amezcuca T. N.** 2000, Estudio Paleobotánico de la Localidad El Bajío en la Caldera de la Sierra La Primavera, Jalisco.
- Austin M. A.** 1975, Climatología, Ediciones Omega SA de CV. Cuarta edición.
- Bifani P.** 1997, Medio Ambiente y Desarrollo. Universidad de Guadalajara. México
- Bolt B.A., Horn W.L., Macdonald G.A., Scott R.F.** 1977, *Geological hazards*, Springer-Verlag, Nueva York.
- Caballero M. y Ortega G. B.**, 1998, Lake levels since about 40,000 years ago at lake Chalco, near Mexico city. *Quaternary Research* 50, 69-79.
- Caballero M., Lozano S., Ortega G. B., Urrutia J. and Macias J. L.** 1999, Environmental Characteristics of lake Tecocomulco, northern basin of Mexico, for the last 50,000 years. *Journal of paleolimnology* 22: 399-411
- Caballero M., Vázquez G., Lozano-García S., Rodríguez A., Sosa Nájera S., Ruiz Fernández A. C., and Ortega B.** 2006, Presente limnological condition and recent (ca. 340 yr) paleolimnology of a tropical lake in the Sierra de los Tuxtlas, eastern Mexico. *Journal of paleolimnology*. 35 83-97.
- Caballero M., Ortega B., Valadez F., Metcalfe S., Macias J, L. and Sugiura Y.** 2002, Sta Cruz Atizapan: a 22-ka lake level record and climatic implications for the late Holocene human occupation in the Upper Lerma Basin, Central Mexico. *Palaeogeography Palaeoclimatology, Palaeoecology* 186. 217-235.
- Carranza, C. O.** 1980, Correlación Bioestratigráfica de paleofaunas de vertebrados de la Faja Volcánica Mexicana Transmexicana, Inst. Geol. UNAM, México.
- Cendredo U. A.**, 1996, Propuesta sobre criterios para la clasificación y catalogación del patrimonio geológico, El patrimonio geológico, bases para su valoración, protección conservación y utilización, Ministerio de Obras Públicas, Transporte y Medio Ambiente, p. 29-38.

**Costanza R.** 1991, Ecological Economics. The Science and Management of Sustainability.

**Consejo de Recursos Minerales, 2000.** Carta Geológica Minera de Guadalajara. Escala 1:250 000. Consejo de Recursos Minerales. México.

**De la fuente-G., J. y Verma, S. P.,** 1993, Catálogo de aparatos volcánicos de la parte centro-occidental del Cinturón Volcánico Mexicano. Geofísica Internacional, Vol. 32, Num. 2, pp. 351-386.

**Elízaga M. E., y Palacio S. J.,** 1996, Valoración de puntos y/o lugares de interés geológico, El patrimonio geológico, bases para su valoración, protección conservación y utilización, Ministerio de Obras Públicas, Transporte y Medio Ambiente, p. 61-77

**Espíndola J. M.** 2000, El tercer planeta. Edad, estructura y composición de la tierra, 50 obras de divulgación científica de interés general, La ciencia para todos, Instituto latinoamericano de la comunicación educativa, Fondo de cultura económica, Volumen 2.

**Fastovsky D.,** 1997, La extinción de los dinosaurios, Extinción masiva del límite Cretácico-Terciario; mitos y realidades, monografía N° 4, Carreño, A. L., y Montellano B. A., editoras., Unión geofísica mexicana, p. 77-84.

**Ferrari, P. L.,** 2000, Avances en el conocimiento de la Faja Volcánica Transmexicana durante la última década. Sociedad Geológica Mexicana, A. C. Tomo LIII, No. 1. pp. 84-92

**Ferrari L. and J. Rosas-Elguera,** 2000, Late Miocene to Quaternary extensión at the northern boundary of the Jalisco block western México: the Tepic-Zacoalco rift revised, Geological Society America Special Paper # 334 chapter 03, p. 41-64.

**Ferriz H. y Mahood G.A.** 1986, Volcanismo riolítico en el Eje Neovolcanico Mexicano Geof. Int. Vol. 25-1 pp 117-156.

**Gama-Castro J. E., Palacios –Mayorga S. y Alcalá Martínez J. R.** 1990, Estudio Edafológico en la Sierra de La Primavera, Estado de Jalisco-Edafogénesis y Riesgos Naturales Inducidos. Univ. Nal. Autón, México, Inst. Geología, Contribuciones a la Edafología Mexicana p 1-24.

**García-Acosta,V.y Reynoso-Suarez, G.,** 1996, Los sismos en la historia de México: Universidad Nacional Autónoma de México, centro de investigaciones y estudios

superiores en antropología social. Fondo de cultura económica p. 81-83-85-87-98-99-100-101-109-120-121-122-128-132-134-138-139-140-146-156-158-194-198-199-200-203-205-206-208-228-229-231-233-234-236-237-265-267-270-284-288-290-312-313-314-319-321-336-337-339-350-356-358-359-360-363-364-365-366-368-369-370-371-372-373-374-375-376-377-378-379-382-383-384-391-392-393-397-399-443-447-466-467-506-522-523-531-534-535-538-559-566-567-583-609-618-625-626-627-645-646-648-649-650-651.

**Glatzmaier G. and Olson P**, 2005, Probing the Geodynamo. *Scientific American Special*, Vol 15, Num 2 2005, Scientific American Inc. 415 Madison Avenue , New York, NY

**Gómez M. F y Mota P. F. J.** 2001, *Vegetación y Cambios Climaticos*. Universidad de Almería, Servicio de Publicaciones. 476p.

**González H. G. y Beramendi O. L. E.** 2005, Laboratorio universitario de radiocarbono, a un año de su creación. *Geofísica*, UNAM, serie Infraestructura Científica y Desarrollo Tecnológico.

**González – Partida E. y Torres-Rodríguez V.** 1987, Evolución tectónica de la porción centro occidental de México y su relación con los yacimientos minerales asociados. *Geof. Inter.*. Vol. 27-4 pp 543 – 581.

**Huerta, M. F., y Guerrero, V. S.,** 2004, *Ecología de Comunidades*. Universidad de Guadalajara. México

**INEGI** 1981, Guadalajara F13 – 12 Carta Hidrológica de Aguas superficiales. Escala 1:250,000.

**INEGI.,** 1999, Guadalajara F13 – 12, Carta geológica, escala 1:250,000.

**INEGI** 2000, Guadalajara F13 – 12 Carta Hidrológica de Aguas subterráneas. Escala 1:250,000.

**INEGI.,** 2002, Guadalajara oeste F-13– -65, Carta geológica, escala 1:50,000.

**Jáuregui, E.,** 1997, Climate variability and change in Mexico: A review. *Geofísica Internacional*, Vol. 36, Num. 3, pp. 201-205

**Johannesson H., Maciel, F. R. y Jonsson J.** 1982, A short account of the hologene tephrochronology of the Snaefellsjokull central volcano, western Iceland. *Jokull*. Vol 31



- Kruger P., Aragon A., Maciel-Flores R., Lucio C.D.** y Villa M. S. 1988, Simulación de la declinación termica antes de la producción con unidades de 5Mwe en el campo geotermico de la Primavera, Jalisco. *Geotermia* Vol 4 No 3, pp 195-210.
- Larousse.,** 2003, Los Climas, cambios en la atmósfera. Colección Larousse. El Mundo contemporáneo. Larousse. España
- López-Ramos E.,** 1995, Carta geológica de los Estados de Jalisco y Aguascalientes. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Cartas Geológicas estatales.
- Lozano-García S. Sosa Najera S., Sigiura Y. and Caballero M.** 2005, 23,000 yr of vegetation history of the Upper Lerma, a tropical high altitude basin in central Mexico. *Quaternary Research* 64, 70-82.
- Luhr, J. F., J. F. Allan, I. S. E. Carmichael, S. A. Nelson and T. Hasenaka,** 1989, Primitive calc-alkaline and alkaline rock types from the western Mexican volcanic belt. *J. Geophys. Res.* 94. 4515-4530
- Lugo H. J.,** 2000, La superficie de la tierra. Procesos catastróficos, mapas. El relieve mexicano, 50 obras de divulgación científica de interés general, La ciencia para todos, Instituto latinoamericano de la comunicación educativa, Fondo de cultura económica, Volumen 2.
- Macdonald K. C., Fox P. J.** 1990, "La dorsal Centro-oceánica", *Investigación y Ciencia*, 167 (8): 52-60.
- Maciel F. R.** 1981, Estudio Geológico de la Zona Geotérmica de Villa Corona. Tesis de licenciatura, Instituto Politécnico Nacional. México DF.
- Maciel F. R.** 1981b, Geological mapping in geothermal exploration with special reference to tephrochronology and paleomagnetic techniques. UNU Geothermal Training Programme, Iceland. Report 1981-4.
- Maciel Flores R.** 1986, Comentarios sobre la estimación del riesgo volcánico. *Geotermia* Vol. 2 No 2 pp85-86.
- Maciel Flores R.** 1986 b, Evaluación geotérmica preliminar del estado de Durango. *Geotermia*. Vol 2 No 3. pp 265 -276.
- Maciel F. R. y Rosas Elguera J. G.**1992, Modelo geológico y evaluación del campo geotérmico La Primavera Jal. México *Geofísica Internacional*. V.31, N° 4 pp.359 – 370

- Maciel F. R.** 1997, Emanometría del gas radón y riesgos naturales en Guadalajara, Jal. Universidad de Guadalajara. Inédito.
- Maciel F. R. y Amescua T. N.** 1998, Estudio paleontológico de la Sierra de La Primavera, apoyado por el Fondo Mexicano para la Conservación de los Recursos Naturales. Inédito
- Maciel F. R.** 1999, Geología del Río Santiago. Reporte Inédito.
- Maciel F. R.** 2000, Estudio sismológico para monitorear el área de Tlajomulco de Zúñiga por donde pasa el poliducto de PEMEX. PEMEX Universidad de Guadalajara. Inédito.
- Maciel F. R.** 2002a, Geología del Volcán de Tequila. Reporte Inédito.
- Maciel F. R.** 2002b, Los Peligros Geológicos y la Sociedad. Revista De Vinci UdG.
- Maciel F. R. y Rosas Elguera J. G.** 2002, Geología del Bajío, Zapopan Jal. Inédito.
- Maciel F. R. y Rosas Elguera J. G.** 2006a, An extensión between the Sierra Madre Occidental volcanic arc and Trans-Mexican Volcanic Belt volcanic arc: a volcano sedimentary evidence. Memory of Internacional Conference on Volcanism 2006. China. [www.iavcei2006.org](http://www.iavcei2006.org).
- Maciel F. R., Rosas. E. J. G. y Peña G. L. E.** 2006b, Geología y amenazas de la Isla Isabel México. Parque Nacional Isla Isabel. Universidad de Guadalajara México. En prensa
- Maillol, J. M., Bandy, W. L. and Ortega-Ramirez, J.,** 1997, Paleomagnetism of Plio-Quaternary basalts in the Jalisco block, western México. Geofísica Internacional, Vol. 36, Num. 1, pp. 21-35
- Margalef R.** 1983, Limnología. Ediciones Omega, S. A. Barcelona. 1009 p.
- Mahood G.A.** 1980, "The Geological and Chemical Evolution of Late Pleistocene Rhyolitic Center: The Sierra la Primavera; Jalisco"; México. Tesis doctoral.
- Maillol, J. M., W. L. Bandy and J. Ortega-Ramirez,** 1997. Paleomagnetism of Plio-Quaternary basalt in the Jalisco Block western of Mexico. Geophys. Int. 36, 21-35.
- Metcalf S.E., O'Hara L. S., Caballero M. and Davies S. J.,** 2000, Quaternary Science Reviews 19. 699- 721.
- Michaud, F., J. Bourgois and Parrot,** 1992, Tectonic Development of Jalisco Triple Junction (Western México). EOS. Transac., A. G. U., 73, 306 (Abstract).

**Michaud , F. O., Gasse, F., J. Bourgois, and Quintero, O.**, 1989, Tectonic Control on lake distribution in Jalisco block area (western Mexico) from Pliocene to present. In: Cenozoic Tectonics and Volcanism of Mexico, Geol. Soc. Am. Sp. Pap., in press.

**Ministerio de Obras Publicas y Transportes.** 1992, Guía para la Elaboración de Estudios del Medio Físico. Secretaría General Técnica, Centro de Publicaciones, España.

**Montellano B. M.** 1997, Nueva localidad de vertebrados del Hemphilliano Tardío en Teocaltiche, Jalisco, México, Revista Mexicana de Ciencias Geológicas.

**Moran Z. J. D.** 1986, Breve revisión sobre la evolución tectónica de México. Geof. Int. Vol 25 Num 1 pp 9-38.

**Morales R. J.**, 1996, El patrimonio paleontológico. Bases para su definición, estado actual y perspectivas futuras, El patrimonio geológico, bases para su valoración, protección conservación y utilización, Ministerio de Obras Públicas, Transporte y Medio Ambiente, p. 39-51.

**Morrone J.J.**, 2005, Biogeografía de América Latina y el Caribe. M&T-Manuales & Tesis Sea. Vol. 3, CYTED, ORCYT-UNESCO & SEA (Eds.) 150 pp.

**Nava A.** 1993, *La inquieta superficie terrestre*. Colección La ciencia desde México, 113, Fondo de Cultura Económica, México.

**Nieto, S. A.**, 2000, Avances en la Geología Mexicana en la última década. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, A. C. Tomo LIII, No. 1. pp. I-iv

**Ortega G. B., Caballero M. M., Lozano G. S. and De la O Villanueva M.** 1999, Palaeoenvironmental record of the last 70,000 yr in San Felipe Basin, Sonora desert, Mexico: preliminary results Geofísica Internacional Vol 38. 1-11

**Ortiz S. R.** 1993, Problemática Geoambiental y Desarrollo. V Reunión Nacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio. Sociedad Española de Geología Ambiental y ordenación del Territorio. Murcia España.

**Petróleos Mexicanos.** 2000, Adecuación de la Manifestación de Impacto Ambiental y estudio de riesgo para el poliducto de Petróleos Mexicanos. Petróleos Mexicanos-Universidad de Guadalajara. México.

**Peti-Maire N. y Lancen M.** 1975, Un Paleolago del NW Mexicano en su conjunto paleontológico: La Playa San Bartolo (Sonora). Implicaciones Paleoclimáticas. Inst. Geol.. Univ. Autóm. México Rev 2 p 84-85.

**Prol-Ledesma R. M.** 2000, El calor de la tierra, 50 obras de divulgación científica de interés general, La ciencia para todos, Instituto latinoamericano de la comunicación educativa, Fondo de cultura económica, Volumen 2.

**Reyna, B. O.,** 2004, Árboles y arbustos del Bosque de la Primavera. Guía Ilustrada. Universidad de Guadalajara-Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). México.

**Rius de R. M., y Castro A. M. C.,** 2000, Calor y movimiento, 50 obras de divulgación científica de interés general, La ciencia para todos, Instituto latinoamericano de la comunicación educativa, Fondo de cultura económica, Volumen 2.

**Rubinovich R., y Lozano M.** 1997, Catastrofismo, historia de una idea, Extinción masiva del límite Cretácico-Terciario; mitos y realidades, monografía N° 4, Carreño, A. L., y Montellano B. A., editoras., Unión geofísica mexicana, p. 1-8.

**Ruiz-Gutierrez R., y Pérez-M C.,** 1997, La problemática de la extinción y el origen del evolucionismo, Extinción masiva del límite Cretácico-Terciario; mitos y realidades, monografía N° 4, Carreño, A. L., y Montellano B. A., editoras., Unión geofísica mexicana, p. 9-26.

**Roederer, J. G.,** 1992, The Earth's magnetosphere: an introduction. Geofísica Internacional, Vol. 31, Num. 1, pp. 5-10

**Rosas-Elguera J. Urrutia Fucugauchi J. & Maciel Flores R.** 1989, Geología del Extremo Oriental del Graben de Chapala, Breve discusión sobre su edad. Zonas Geotermicas Ixtlán de los Hervores, Los Negritos, México. Geotermía. Vol 5 pp 3-18.

**Rosas-Elguera, J., Nieto O. J., and Urrutia-Fucugauchi, J.,** 1993, Ambiente estructural en la frontera norte del bloque Jalisco, in Delgado- Argote, L., and Martín-Barajas A., Contribuciones a la tectónica del Occidente de México: Unión Geofísica Mexicana. Monográfica.

**Rosas E. J., L. Ferrari, M. López Martínez and J. Urrutia-Fucugauchi, J:**1996, The Continental boundaries of Jalisco block and their influence on the Plio-Quaternary Kinematics of western Mexico: Geology, v. 24, p. 921-924.

- Rosas Elguera, J; Ferrari, L. Garduño, V.H; and Urrutia-Fucuguachi, J.** 1996, The Continental boundaries of Jalisco block and their influence on the Plio-Quaternary Kinematics of western Mexico: *Geology*, v. 24, p.921-924.
- Rubinovich R. y Lozano M.,** 1997, Catastrofismo de una idea, en A.L. Carreño y M. Montellano- Ballesteros, Editoras, Extinsion Masiva del limite Cretácico-Terciario; mitos y realidades, Union Geofisica Mexicana, Monografía No 4, 1-8.
- Rzedowski, J.** 1978, Vegetación de México. Ed. Limusa 432 pp
- Saltzman B.** 2002, Dynamical Paleoclimatology. Academic Press. International Geophysics, Series, Volume 80.
- SEMARNAT.,** 2000, Programa de manejo área de protección de flora y fauna La Primavera México: Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, p. 9-116.
- Scotese. 1997 en Saltzman B.** 2002, Dynamical Paleoclimatology. Academic Press. International Geophysics, Series, Volume 80.
- Serpa, L., S., Ch. Skidmore, R. Sloan, and T. Pavlis,** 1991, A Geophysical Investigation of the Southern Jalisco Block in the State of Colima, Mexico, *Geofís. Internal.*, v.31, 4, p.475-493.
- Stevens, G. R.** 1980, New Zeland Adrift. The theory of continental drift in a new Zealand setting. A.H.&A.W. Reed LTD Auckland NZ. Pp 330-332.
- Tagüeña. E. M. J.,** 2000, De la brújula al espín: el magnetismo, 50 obras de divulgación científica de interés general, La ciencia para todos, Instituto latinoamericano de la comunicación educativa, Fondo del cultura económica, Volumen 2.
- Thorarinsson, S.,** 1944, Tefrokronologiska studier pa island. *Geografiska, Annaler* 26, p 1-217.
- Thorarinsson, S.,** 1974, Tephrochronology and its application in Iceland. *Jokull* 29, p 33-36
- Universidad Nacional Autónoma de México,** 1990, Desarrollo histórico del levantamiento cartográfico II, Instituto de geografía. Atlas nacional de México. Imagen de satélite de la región de Guadalajara y Lago de Chapala, Jalisco, Imagen landsat-eosat, escala 1:1 000 000
- Universidad de Guadalajara** 1994, Programa de Manejo del Bosque de la Primavera, Universidad de Guadalajara, Guadalajara, Jalisco, México.

- Universidad de Guadalajara** 2006, Estudio Técnico Justificativo para proponer como área natural protegida al Bosque de Nixticuil. Universidad de Guadalajara, Guadalajara, Jalisco, México.
- Urrutia-Fucugauchi, J.** 1984, On the tectonic evolution of Mexico: Paleomagnetic constraints. Plate reconstruction from Paleozoic Paleomagnetism. Geodynamics Series, Vol. 12. American Geophysical Union. pp. 29-47
- Uyeda S.** 1982, *La nueva concepción de la Tierra*. Editorial Blume, Barcelona.
- Valdes-Galicia, J.** 1992, Interplanetary magnetic field fluctuations and the propagation of cosmic rays. Geofísica Internacional, Vol. 31, Num. 1, pp. 29-40
- Van Eysinga F. W. B.** 1978, Geological Time Table Elsevier Holanda, 3ra. Edición.
- Varnes D. J.** 1984, Landslide Hazard Zonation: a Review of Principles and Practice (Natural hazards 3). United Nations Educational, UNESCO, France.
- Venegas, S. S Herrera, F. J. J. y Maciel F. R** 1985, Algunas características de la Faja Volcánica Mexicana y sus recursos geotérmicos. Geofísica internacional, v. 24, No. 1. Pp 47-81.
- Villalpando F. y García E.** 1993, Agroclimatología del Estado de Jalisco. Universidad de Guadalajara. Guadalajara México.