

## Capítulo 1 Introducción

La presente Tesis fue desarrollada para resolver un problema específico utilizando al paleomagnetismo como una técnica física que ayudara a reconocer, caracterizar y ordenar con mayor detalle las unidades de una misma composición química, presentes en una secuencia volcánica de gran interés geológico para la evolución magmática del Mioceno en el Estado de Sonora.

### *Paleomagnetismo*

El Paleomagnetismo, es decir, el estudio del magnetismo de las rocas antiguas aporta valiosa información en amplios campos del conocimiento geológico. Una de las principales contribuciones, es la reconstrucción del movimiento de los continentes a través del tiempo geológico, gracias a la información grabada en los minerales magnéticos al momento de su enfriamiento. A su vez, esta disciplina también comprende las características de la naturaleza dipolo o no-dipolo del campo magnético, su variación en intensidad y las inversiones de polaridad (Butler, 1992).

Muchas rocas son lo suficientemente magnéticas a tal grado que un simple aparato puede detectar su magnetización natural, por ejemplo; los minerales en las rocas ígneas generalmente adquieren su magnetización por el proceso de termo-remanencia, al enfriarse y grabar las características del campo geomagnético, se dice que han pasado por debajo de su punto de temperatura Curie. Por otro lado, las rocas sedimentarias (particularmente las areniscas rojas) pueden adquirir su magnetización natural de varias maneras y en ocasiones más complejas. Pueden adquirir su magnetismo por el crecimiento químico de material magnético y/o también

por la deposición de granos magnéticos (Para consultar sobre el origen del magnetismo remanente natural véase [Butler, 1992](#), Capítulo 3).

De cualquier manera, ambos tipos de rocas graban la dirección del campo magnético en el lugar y tiempo en que se lleva a cabo la magnetización, que usualmente, pero no siempre, es el lugar de formación de las rocas mismas. El análisis derivado de la medición de dicha magnetización ha ayudado a comprender con precisión el funcionamiento del campo magnético a través de la historia geológica. Hoy en día sabemos que el campo magnético terrestre está sujeto a variaciones y fluctuaciones considerables y aparentemente aleatorias, habiéndose producido además inversiones de la polaridad, las cuales han provocado que durante algunas épocas el polo norte magnético se situara en el polo sur geográfico y viceversa ([Merrill y McFadden, 1999](#)).

En este estudio, la técnica paleomagnética es aplicada para la determinación de la estratigrafía magnética de un importante evento magmático anorogénico ocurrido en el Mioceno medio ([Vidal-Solano, 2005](#)), evento volcánico silícico que se conoce principalmente por la gran extensión de un depósito ignimbrítico ampliamente reconocido en el NW de México, como la Toba de San Felipe en Baja California (TSF, [Stock et al., 1999](#); [Oskin et al., 2001](#); [Olguín-Villa et al., 2010](#); [Olguín-Villa 2010](#)), y como la Ignimbrita de Hermosillo en Sonora ([Paz-Moreno et al., 2000](#); [Vidal-Solano, 2005](#); [Vidal-Solano et al., 2007](#); [Bennett, 2009](#); [Vidal-Solano y Stock, 2010a](#); [Vidal-Solano y Stock, 2010b](#), [Darin, 2011](#); [Gómez-Valencia, 2011](#), [Barrera-Guerrero, 2012](#)).

### *Volcanismo hiperalcalino*

El Mioceno medio (~12 Ma) en el Noroeste de México, es representado por episodios magmáticos asociados con la apertura del proto-Golfo de California (Figura 1, Vidal-Solano, 2005). Este magmatismo, de características anorogénicas, marca el paso al cambio tectónico del cese de una actividad de subducción al desarrollo de un adelgazamiento y ruptura cortical (Stock y Hodges, 1989). Evidencia de dicho evento es manifestado por la aparición de rocas máficas con firmas de serie magmática transicional (Vidal-Solano, 2005), acompañado de un gran volumen de rocas félsicas altamente diferenciadas y de afinidades hiperalcalinas (Paz-Moreno et al., 2000; Vidal-Solano, 2005; Gómez-Valencia, 2011, Barrera-Guerrero, 2012). Los afloramientos de estas rocas hiperalcalinas que se encuentran en Sonora central, ocurren en domos y coladas riolíticas intercaladas con episodios de corrientes piroclásticas densas (Vidal-Solano et al., 2007), mientras que el mismo volcanismo silícico en Baja California es representado solo por la Toba de San Felipe, una unidad derivada de un gran evento explosivo de tipo ignimbrítico (Stock et al., 1999; Oskin et al., 2001; Bennett, 2009; Olgún-Villa et al., 2008; Olgún-Villa, 2010; Olgún-Villa, et al., 2010).

La Toba de San Felipe es una riolita ignimbrítica hiperalcalina, de tipo comendita, que fue primeramente reconocida en Baja California en un área entre San Felipe, Puertecitos y la Sierra San Pedro Mártir (Stock et al., 1999). En esta zona ocurre densamente soldada con un vitrófiro negro a la base, con espesores potentes y facies de reomorfismo (Stock et al., 1999). Esta unidad es ampliamente reconocida tanto en Baja California como en Sonora Central, por tener una dirección

paleomagnética inusual, la cual revela una dirección de remanencia magnética inversa hacia el suroeste y casi horizontal (Stock et al., 1999; Oskin et al., 2001; Hernández et al., 2008; Bennett, 2009; Olguín-Villa, 2010; Darin, 2011, Olguín-Villa et al., 2012) efecto que se atribuye a su enfriamiento ocurrido probablemente durante un cambio de polaridad y/o una excursión del campo geomagnético (Olguín-Villa, et al., 2011).

Debido a la amplia distribución de este pulso ignimbrítico (Figura 1), se considera un excelente marcador estratigráfico para el Mioceno medio y para las reconstrucciones tectónicas del NW de México (Stock y Hodges, 1989; Oskin, 2002; Vidal-Solano et al., 2007; Bennett, 2009, Olguín-Villa, 2010; Darin, 2011).

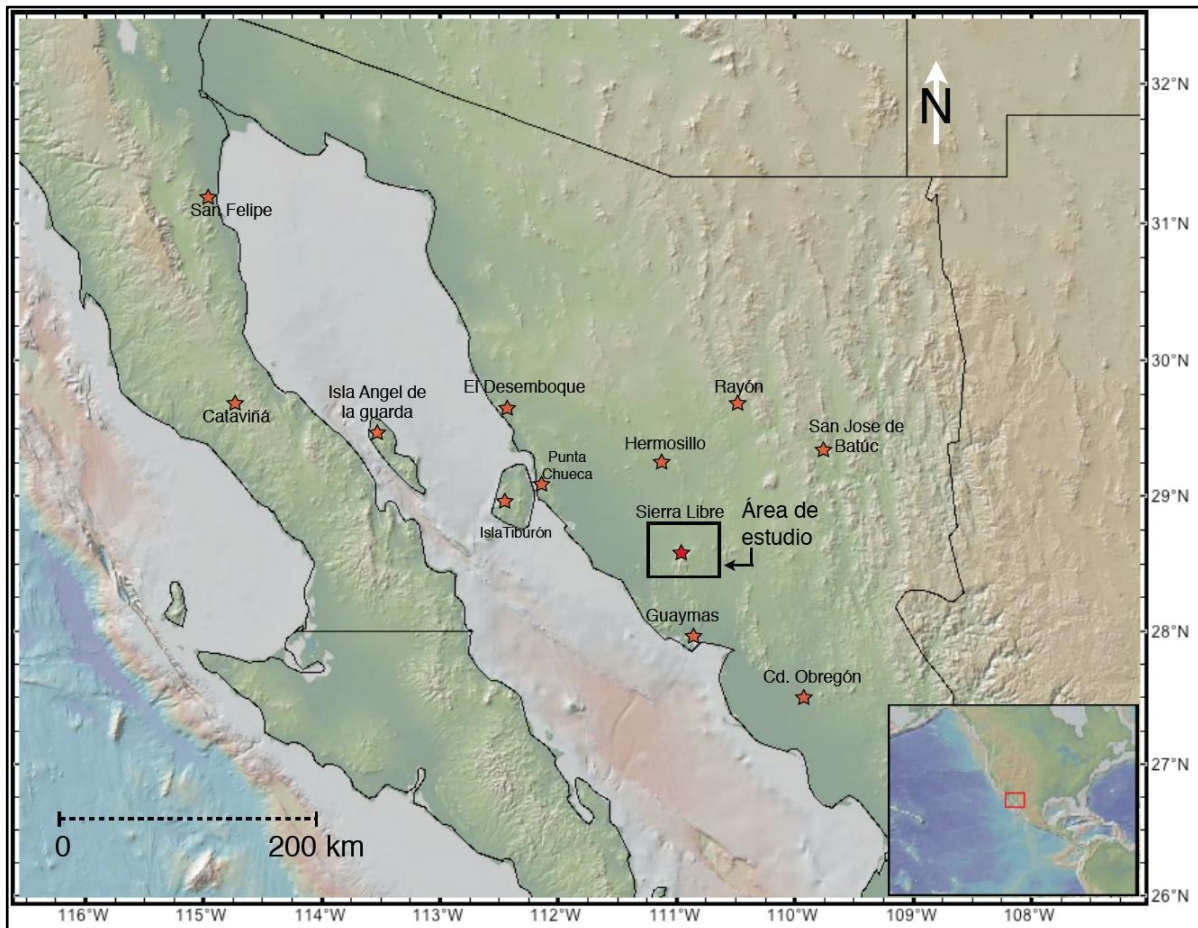


Figura 1; Mapa esquemático del NW de México mostrando la distribución del volcanismo hiperalcalino marcado en estrellas modificado de Vidal-Solano, 2005.

Los datos derivados de muchos estudios realizados sobre este magmatismo riolítico anorogénico en el NW de México contemplan; su cartografía y distribución apoyados en imágenes satelitales para su delimitación espacial, muestreo sistemático para diversas técnicas como elaboración de secciones pulidas, geoquímica, dataciones isotópicas ([Gómez-Valencia et al., 2009](#); [Olguín-Villa et al., 2008](#); [Palomino-Medina y Vidal-Solano, 2009](#)), estudios de petro-fábrica y estudios paleomagnéticos ([Pacheco-Hoyos y Vidal-Solano, 2009](#); [Olguín-Villa, 2010](#); [Vidal-Solano et al., 2010a](#)).

En particular, [Barrera-Guerrero \(2012\)](#), sienta las bases geológicas del área de Sierra Libre (ubicada geográficamente a 50 km al sur de Hermosillo, Sonora), donde manifiesta la importancia de este lugar al realizar la cartografía geológica y establecer el control estratigráfico del área.

En su estudio, [Barrera-Guerrero \(2012\)](#), agrupa unidades en paquetes que comprenden ambientes tectónicos diferentes, en las cuales se reconoce un volcanismo orogénico compuesto principalmente por dacitas calco-alcalinas, seguido por un volcanismo anorogénico de afinidad genética transicional y finalmente por un volcanismo anorogénico de afinidad toleítica.

El segundo paquete descrito por [Barrera-Guerrero \(2012\)](#), alberga el registro más completo del volcanismo hiperalcalino, donde se reconoció una gruesa pila de unidades tanto piroclásticas como lavas, con un espesor de ~180 metros. Dicha secuencia ocurre en los Cañones El Galindro y El Cajete, donde fue muestreada sistemáticamente para la obtención de la estratigrafía magnética desarrollada en el

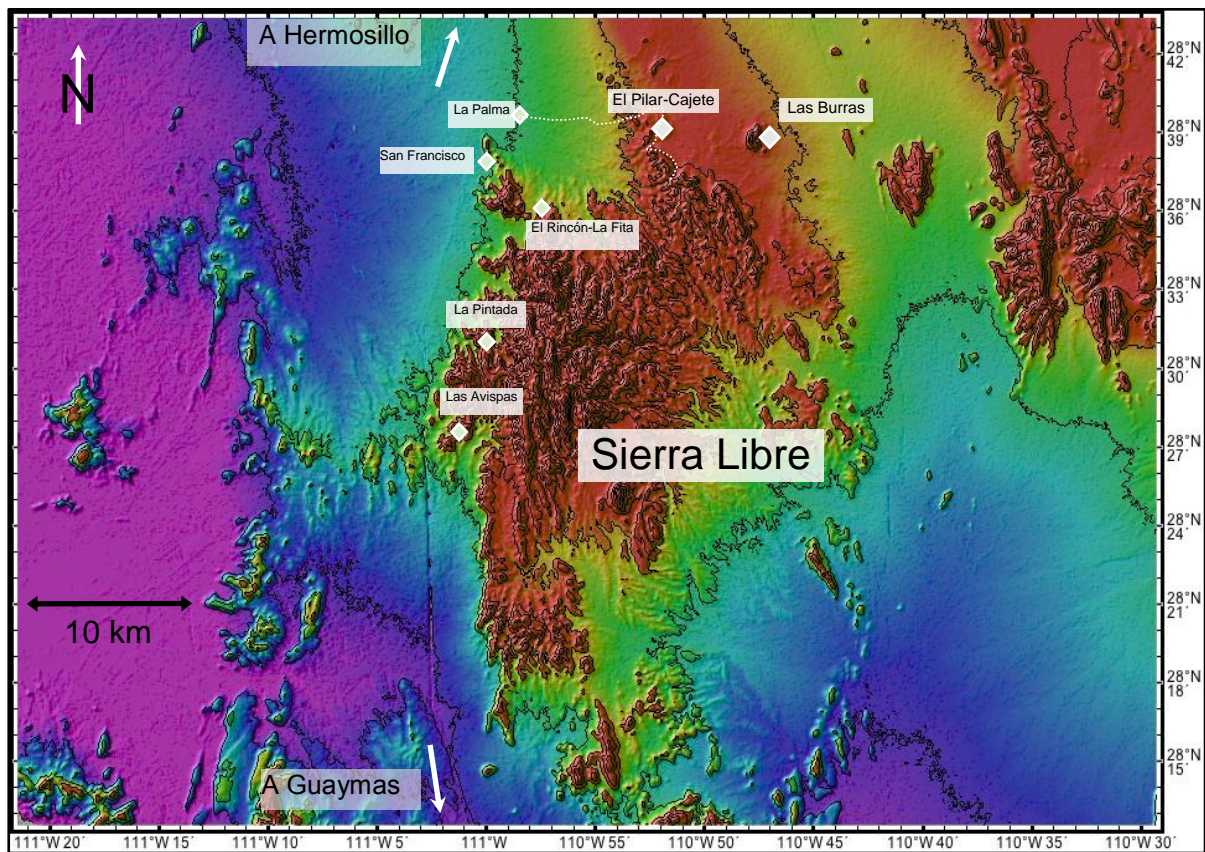
presente estudio y contribuye al conocimiento de este importante evento volcánico del Mioceno Medio (Olguín-Villa et al., 2011, Olguín-Villa et al., 2012).

### **1.1 Localización del área de estudio**

El macizo rocoso de la Sierra Libre está localizado a 50 kilómetros al Sur de la ciudad de Hermosillo (Figura 2), capital del Estado de Sonora, está orientado con dirección NW-SE y cuenta con una extensión de 600 km<sup>2</sup> y elevación máxima de 1,160 m.s.n.m, derivado de la construcción de intenso volcanismo félsico comprendido por potentes coladas riolíticas interdigitadas con depósitos derivados de actividades explosivas principalmente de tipo ignimbrítico. Fisiográficamente, la Sierra Libre colinda al Sur con la Sierra Santa Úrsula, al Sureste con el Graben de Empalme, al este con la Sierra San Antonio y Sierra Bacatete, y finalmente al oeste con la Sierra El Aguaje.

La carretera internacional No.15 que conecta a Hermosillo con el puerto de Guaymas permite el tránsito por el costado occidental de la Sierra Libre. Un importante acceso localizado en el kilómetro 207, ubicado en el Rancho La Palma conduce mediante una brecha de terracería al área de estudio, localizada en las cercanías del Rancho el Pilar (Figura 2).

Stock y Hodges (1989) sitúan a la Sierra Libre dentro de la Provincia Extensional del Golfo de California, la cual comprende un área de 100 km de ancho que abarca la costa actual del Golfo de California. Dicha provincia, es generada en el Mioceno Tardío por una sistema de estructuras extensionales con orientaciones NNW-SSE (Dokka y Merriam, 1982; Henry, 1989; Stock y Hodges, 1989).



**Figura 2;** Esquema del relieve en la Sierra Libre, la elevación se muestra con curvas de nivel cada 200 metros. Se identifican en el mapa puntos de interés reconocidos por [Barrera-Guerrero \(2012\)](#).

## 1.2 Justificación del estudio

En el trabajo de licenciatura titulado “*Estudio físico y químico del volcanismo hiperalcalino en la región de Cataviña, Baja California*” de [Olguín-Villa \(2010\)](#), desarrollado bajo el proyecto de ciencia básica CONACYT #12203-8888000 (Clave 61198); se reconoce la presencia de manifestaciones piroclásticas soldadas de tipo ignimbrítico. Esta unidad representa al margen Oeste del volcanismo hiperalcalino en la región de Baja California, en el área de Cataviñá y el Valle de San Agustín ([Olguín-Villa, 2010](#)). En estos lugares, la ocurrencia de dicha unidad es de espesores reducidos, no llegando a superar los 30 metros y las características de sus facies nos indican que proviene de un punto distal a su depósito. Muchos estudios

paleomagnéticos muestran que estos depósitos son correlacionables con varios puntos en Baja California y Sonora central, demostrando que se trata de una sola unidad de enfriamiento (Stock et al., 1999; Oskin et al., 2001; Hernandez et al., 2008; Bennett, 2009; Olguín-Villa, 2010; Darin, 2011, Olguín-Villa et al., 2012). Además, estudios de vulcanología física, petro-fábrica y anisotropía de susceptibilidad magnética sugieren que la localidad de emisión de este majestuoso pulso anorogénico pudiera estar ubicada en Sonora (Olguín-Villa, 2010; Skinner et al., 2012).

Barrera-Guerrero (2012) reconoce que la distribución de los vestigios volcánicos hiperalcalinos y sus asociaciones litológicas aumentan considerablemente en volumen hacia la Sierra Libre, proponiendo que la Sierra Libre representa el punto de emisión de la Toba de San Felipe/Ignimbrita de Hermosillo; así como del apilamiento anómalo de unidades félsicas hiperalcalinas que aflora en sus cañones.

Teniéndose bien sentadas las bases de su caracterización geológica y agrupación en unidades petrológicas (Barrera-Guerrero, 2012), nace la oportunidad de estudiar la secuencia de este volcanismo hiperalcalino ubicada en El Cajete-El Galindro, desde otro punto de vista. Este nuevo enfoque contempla el uso de técnicas paleomagnéticas con la intención de establecer la estratigrafía magnética de todas las unidades pertenecientes al volcanismo hiperalcalino el cuál será desarrollado ampliamente en este trabajo.

### 1.3 Objetivos

En este estudio se pretenden establecer con la aplicación de la técnica paleomagnética, los siguientes objetivos:



- a) Un control de la estratigrafía magnética para el Mioceno Medio en Sierra Libre.  
Esto implica la obtención de las características de remanencia magnética de cada una de las unidades presentes en el evento de volcanismo hiperalcalino.
- b) Acotar un rango temporal, preciso, de la ocurrencia de dicho evento volcánico.
- c) Comprobar, con el uso de técnicas paleomagnéticas, la presencia de la Toba de San Felipe-Ignimbrita de Hermosillo y su correlación con las localidades reportadas en Sonora y Baja California.
- d) Caracterizar la mineralogía magnética mediante el uso de las técnicas de temperatura de Curie.