



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO**

**Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra**

Maestría en Geociencias y Planificación del Territorio

**“RECONSTRUCCIÓN PALEOECOLÓGICA DURANTE EL HOLOCENO  
TARDÍO DE LA REGIÓN TACANÁ-BOQUERÓN, CHIAPAS, MEXICO.”**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

MAESTRO EN GEOCIENCIAS Y PLANIFICACIÓN DEL TERRITORIO

**Presenta:** Geramael Hidalgo Juárez.

**Asesora:** Dra. Gabriela Domínguez Vázquez.

Morelia, Michoacán. Junio de 2021.

ESTA TESIS ESTÁ DEDICADA A FIDELIA JUÁREZ Y GUADALUPE  
HIDALGO, MIS PADRES Y MI TODO.

SIN SU APOYO Y AMOR INCONDICIONAL, NADA SERÍA POSIBLE.

## **AGRADECIMIENTOS.**

Gracias al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por la beca otorgada durante mi periodo de maestría (Marzo 2019 – Marzo 2021).

A la Coordinación de la investigación científica (CIC), y el proyecto de 2019-2020, otorgado a la Dra. Gabriela Domínguez Vázquez.

Al proyecto “Cambios en el clima y en el uso del suelo como determinantes de la alteración espacial y la estructura de las comunidades de insectos en sistemas montañosos del sur de México. CONACYT, subprograma de ciencia básica general, 000000000258792, CB-2015-01” aprobado al Dr. Jorge Leonel León Cortés, por el apoyo en la toma de los núcleos.

A mi directora de tesis la Dra. Gabriela Domínguez Vázquez, por aceptarme de regreso a su laboratorio, por todo lo que me ha enseñado, la paciencia que me ha tenido, y por guiarme en el proceso de la tesis.

A los miembros de mi mesa sinodal, Dra. Isabel Israde Alcántara, Dra. Verónica Osuna Vallejo, Dra. Sabina Irene Lara Cabrera y al Dr. Pedro Corona Chávez, por su tiempo invertido en la revisión de mi proyecto, así como sus valiosas aportaciones, por los comentarios y correcciones realizadas, para que el trabajo estuviera más completo.

Gracias a Cynthia, Dulce y Dra. Gaby, por todo el apoyo que me brindaron en el trabajo tanto de campo, como de laboratorio, sin duda el trabajo se hacía menos pesado con su compañía y ayuda. Gracias por convertirse en más que compañeras de cubículo.

A mi familia que en todo momento me estuvo apoyando de alguna u otra manera, a mis papás y hermanos, los quiero mucho.

Por último, a todos mis amigos y personas cercanas, que estuvieron junto a mí en el proceso de Maestría. En especial a Cynthia que me aguantó y apoyo tanto, y a Sergio que siempre me dio palabras de aliento y ánimos. Les quiero.

## ÍNDICE GENERAL.

1. <b>Introducción.</b> .....	1
2. <b>Marco Teórico.</b> .....	4
2.1. Paleoecología.....	4
2.2. Polen.....	4
2.3. Holoceno y sus divisiones. ....	5
2.4. Cambios ambientales durante el Holoceno en Chiapas. ....	6
2.5. Efecto de las erupciones en el ambiente.....	7
2.6. Forzamientos climáticos regionales.....	9
3. <b>Antecedentes.</b> .....	11
3.1. Actividad Volcánica del Tacaná durante el Holoceno. ....	12
3.2. Estudios de polen moderno en la región. ....	14
4. <b>Hipótesis.</b> .....	15
5. <b>Objetivos.</b> .....	15
5.1. General.....	15
5.2. Específicos. ....	15
6. <b>Área de estudio.</b> .....	16
6.1. Localización geográfica. ....	16
6.2. Fisiografía.....	17
6.3. Geología. ....	17
6.4. Hidrología. ....	18
6.5. Clima. ....	19
6.6. Vegetación.....	19
7. <b>Materiales y métodos.</b> .....	22
7.1. Trabajo de campo.....	22
7.2. Trabajo de laboratorio.....	22
7.2.1. Fechamiento. ....	22
7.2.2. Estratigrafía.....	23
7.2.3. Análisis palinológico.....	23

7.2.4.	Identificación y conteo de los palinomorfos.....	24
7.3.	Procesamiento de datos. ....	24
8.	<b>Resultados</b> .....	25
8.1.	Núcleo cráter. ....	25
8.1.1.	Estratigrafía.....	25
8.1.2.	Fecha miento. ....	27
8.1.3.	Diagrama polínico. ....	30
8.1.4.	Productividad polínica. ....	33
8.2.	Núcleo base del volcán (rancho INIFAP).....	34
8.2.1.	Estratigrafía.....	34
8.2.2.	Fecha miento. ....	37
8.2.3.	Diagrama polínico. ....	39
8.2.4.	Productividad polínica. ....	43
8.3.	Fichas de polen. ....	44
9.	<b>Discusión</b> .....	47
9.1.	Núcleo Cráter.....	47
9.2.	Núcleo tierras bajas (rancho INIFAP). ....	49
9.3.	Holoceno tardío en el sur y sureste de México. ....	51
10.	<b>Conclusiones</b> .....	53
11.	<b>Literatura citada</b> .....	54

## ÍNDICE DE TABLAS.

<b>Tabla 1.</b> Actividad del Volcán Tacaná durante el Holoceno (Macias y Arce, 2019).....	13
<b>Tabla 2.</b> Fechamiento de la muestra del núcleo cráter.....	28
<b>Tabla 3.</b> Fechamiento de la muestra del núcleo INIFAP.....	37

## ÍNDICE DE FIGURAS.

<b>Figura 1.</b> Proceso tafonómico de los granos de polen. ....	5
<b>Figura 2.</b> Modificación en la división del Holoceno (tomado de Cohen <i>et al.</i> , 2018).....	6
<b>Figura 3.</b> Mapa geológico simplificado del CVT y áreas colindantes (tomado de Macías <i>et al.</i> , 2015).....	8
<b>Figura 4.</b> Ubicación geográfica del área de estudio y sitios donde se obtuvieron los núcleos de sedimentos. ....	16
<b>Figura 5.</b> Modelo de relieve de la cuenca Tacaná-Boquerón, en el cual se muestran las principales vías de drenaje y los puntos de muestreo. ....	18
<b>Figura 6.</b> Distribución altitudinal de los tipos de vegetación presentes en el volcán Tacaná.....	21
<b>Figura 7.</b> Núcleo obtenido en el Cráter del volcán Tacaná.....	25
<b>Figura 8.</b> Columna estratigráfica del núcleo cráter.....	26
<b>Figura 9.</b> Curva de edad y tasa de sedimentación del núcleo cráter.....	28
<b>Figura 10.</b> Diagrama de polen con los principales tipos polínicos identificados en el Núcleo Cráter. ....	29
<b>Figura 11.</b> Porcentaje de los elementos templados, tropicales y hierbas del Núcleo Cráter. ....	30
<b>Figura 12.</b> Porcentajes de Polen no arbóreo (PNA) y Polen arbóreo (PA) del Núcleo Cráter. ....	31
<b>Figura 13.</b> Productividad polínica del Núcleo Cráter. ....	33
<b>Figura 14.</b> Núcleo obtenido en un sitio de inundación, en la base del volcán Tacaná (Rancho INIFAP). ....	34
<b>Figura 15.</b> Columna estratigráfica del núcleo rancho INIFAP.....	34
<b>Figura 16.</b> Curva de edad y tasa de sedimentación del núcleo INIFAP. ....	37

<b>Figura 17.</b> Diagrama de polen con los principales tipos polínicos identificados en la base del volcán (Rancho INIFAP). .....	38
<b>Figura 18.</b> Porcentaje de los elementos templados, tropicales y hierbas del Núcleo Rancho INIFAP. ....	39
<b>Figura 19.</b> Porcentajes de Polen no arbóreo (PNA) y Polen arbóreo (PA) del Núcleo Rancho INIFAP. ....	40
<b>Figura 20.</b> Productividad polínica del Núcleo Rancho INIFAP. ....	44
<b>Figura 21.</b> Ficha 1, granos de polen identificados en el núcleo cráter. ....	44
<b>Figura 22.</b> Ficha 2, granos de polen identificados en el núcleo INIFAP. ....	45
<b>Figura 23.</b> Ficha 3, granos de polen identificados en el núcleo INIFAP. ....	45
<b>Figura 24.</b> Ficha 4, palinomorfos identificados en el núcleo INIFAP. ....	46

## RESUMEN

Las reconstrucciones paleoecológicas son el estudio de la historia climática y ecológica, asociándolas a eventos de origen natural o antrópico y su influencia en la dinámica de la vegetación. Los estudios paleoecológicos se basan en la identificación de proxys biológicos, principalmente fósiles de granos de polen y esporas, mediante los cuales es posible conocer los cambios en la vegetación a lo largo del tiempo. A través de dos núcleos, se presenta la reconstrucción paleoecológica durante el Holoceno tardío en la región Tacaná-Boquerón, uno extraído en el cráter a 4050 msnm y el otro extraído de las tierras bajas a 500 msnm, en una zona de inundación pluvial. Ambos núcleos ayudarán a entender los efectos que el vulcanismo, cambio climático y la actividad antropogénica han tenido sobre los cambios en la vegetación. Se aplicaron técnicas palinológicas a los 2 núcleos. El núcleo del cráter (TAC) tuvo una edad de 1520 +/- 30 años AP, a 40 cm; mientras que el núcleo tomado en la zona baja (INIFAP) arrojó una edad de 3410 +/- 30 años AP, a 96 cm. Los taxa más representativos en el núcleo cráter fueron: Asteraceae, Pinus, Alnus, Poaceae y Quercus; mientras que, en el núcleo de la zona baja, los elementos de mayor importancia en el espectro polínico fueron: Moraceae, Fabaceae, Ficus, Asteraceae y Poaceae. El núcleo del cráter está fuertemente influenciado por el vulcanismo de la zona. Se registró un evento volcánico en el cráter, el cual provocó la desaparición de la vegetación original y, posteriormente, un proceso de sucesión a un bosque de Pinus. En el núcleo de las zonas bajas, se encontró 3 estratos de ceniza volcánica, los cuales afectaron la vegetación. Por otro lado, en el núcleo de la zona de inundación, se observaron cambios en la estructura de la vegetación, alternando de bosques tropicales perennifolios a bosques tropicales abiertos, con un alto grado de perturbación. Se concluye que estos cambios han sido conducidos por la actividad humana, así como por fenómenos atmosféricos globales como el ENSO.

**Palabras clave:** Paleoecología, palinología, cambio climático, polen fósil, ceniza volcánica.

## ABSTRACT

Palaeoecological reconstructions are the study of climate and ecological history, associating them with events of natural or anthropic origin, and its influence in the dynamic of vegetation. Palaeoecological studies are based on the identification of biological proxies, mainly fossil pollen grains and spores, through which it is possible to know the changes in vegetation throughout time. Using two cores, the palaeoecological reconstruction is presented during the late Holocene in the Tacaná-Boquerón region, one extracted from the crater at 4050 meters above sea level, and the second one extracted from the lowlands at 500 meters above sea level, located in a pluvial flooding zone. Both cores help to understand the effects that vulcanism, climate change and anthropogenic activity have had on the vegetation changes. Palynological techniques were applied in both cores. The crater core (TAC) was dated 1520 +/- 30 years BP, at 40 cm; whilst the core taken from the lowland (INIFAP) dated 3410 +/- 30 years BP, at 96 cm. The most representative taxa in the crater core were: Asteraceae, *Pinus*, *Alnus*, Poaceae and *Quercus*. Contrastingly, in the lowland core, the most important elements from the pollen spectrum were: Moraceae, Fabaceae, *Ficus*, Asteraceae and Poaceae. The crater core is strongly influenced by the vulcanism present in the area. A volcanic event was recorded in the crater, which caused the disappearance of the original vegetation, and later a succession process that led to a *Pinus* forest. In the lowland core, three strata of volcanic ash were found that affected the vegetation. On the contrary, in the flooding zone core, changes in the structure of the vegetation were observed, alternating from tropical rain forests to open tropical forests, with a high degree of disturbance. It is concluded that these changes have been driven by human activity, as well as global atmospheric phenomena such as ENSO.

**Key words:** Paleoecology, palynology, climate change, fossil pollen, volcanic ash.

## 1. Introducción.

Las reconstrucciones paleoecológicas se basan en la identificación de proxys biológicos, principalmente granos de polen y esporas fósiles (Jackson y Williams, 2004). Estos proxys, se pueden depositar en sitios de acumulación de sedimentos, en los cuales se preservan y se convierten en fósiles. Los granos de polen son fosilizados, gracias a la esporopolenina, un politerpeno impermeable presente en la exina del polen y en la pared de las esporas, resistente a agentes químicos (Faegri e Iversen, 1989, Patzkowsky *et al.*, 2000).

A través de los métodos palinológicos es posible conocer cómo ha cambiado la vegetación a lo largo del tiempo. Asimismo, se puede inferir si hubo acciones antrópicas (deforestación, ganadería o agricultura), o eventos climáticos o volcánicos sobre la vegetación, pudiendo ocasionar modificaciones importantes en la estructura del ecosistema.

El espectro polínico está formado por los granos de polen que se depositan en los sustratos biológicos o sedimentos en un área determinada, está dominada principalmente por las especies vegetales que dominan los tipos de vegetación, y que son características del estrato arbóreo, generalmente de polinización anemófila. Los estudios de lluvia de polen modernos ayudan a determinar la composición de las comunidades vegetales, y así facilitar la identificación de la asociación vegetal del pasado (Faegri e Iversen, 1989; Patzkowsky *et al.*, 2000; Terradas, 2001); es decir las reconstrucciones paleovegetales o paleoambientales necesitan de análogos modernos, para su correcta interpretación.

La importancia de las reconstrucciones paleovegetales en sitios donde hay presencia de un edificio volcánico, radica en conocer y entender los cambios en la dinámica local o regional de la vegetación que pudieron ocasionar eventos relacionados a vulcanismo en el pasado (Nooren *et al.*, 2009).

El volcán Tacaná es un volcán activo que ha registrado actividad volcánica intermitente durante miles de años. Algunos eventos de vulcanismo registrados

durante el Holoceno fueron ocasionados por los cuatro picos que forman el complejo volcánico Tacaná (CVT), y que son: el volcán Chichuj (3800 m.s.n.m.), el volcán Tacaná (4,092 m.s.n.m.), Domo Las Ardillas (3780 m.s.n.m.) y el volcán San Antonio (3700 m.s.n.m.). Las erupciones más recientes ocurrieron entre el 25 y 72 DC. Un evento importante hace 1,950 años, coincide con el abandono de la zona arqueológica de Izapa, localizada a 100 m.s.n.m. en la zona del Soconusco. Entre 1885 y 1888 y en 1950, se tienen registros importantes de actividad del Tacaná, siendo la última erupción freática en 1986 (Macias, 2000; Mora *et al.* 2004; Macías, 2005; Rodríguez, 2010).

Asimismo, los estudios de reconstrucción paleoecológica en sitios de alta elevación son importantes ya que ayudan a comprender cómo han sido las variaciones en las comunidades vegetales asociados a las fluctuaciones en el clima tanto local como regional. Los estudios en sitios de alta elevación se caracterizan por no presentar cambios climáticos y vegetacionales asociados a disturbios antropogénicos. Además de que los estudios en geoformas volcánicas, permite comprender e identificar las variaciones climáticas en el área de estudio relacionadas al vulcanismo local (Birks y Birks, 1980; Faegri e Iversen, 1989; Gutierrez-Ayala *et al.*, 2012; Patzkowsky *et al.*, 2000).

Las diversas erupciones del volcán Tacaná ha tenido gran influencia sobre las tierras bajas del Soconusco, una de sus diversas manifestaciones volcánicas ha generado lahares, cuyos productos han ocupado los cauces de los ríos Cahoacán, Coatán y Mixcum, que desembocan en el Océano Pacífico. Las erupciones de este volcán han afectado un radio de 35 km, cubriendo la región Tacaná-Boquerón; dicho radio de afectación está caracterizado por una alta densidad de población, con ca. de 500,000 habitantes; por lo que es importante conocer, cómo la actividad volcánica ha repercutido en las poblaciones humanas localizadas en las zonas bajas del CVT durante el Holoceno.

En el presente trabajo se presentará la reconstrucción paleoecológica durante el Holoceno tardío en la región Tacaná-Boquerón, a través de dos núcleos, provenientes de condiciones contrastantes, uno extraído en el cráter a 4050 msnm

y el otro localizado en las tierras bajas a 500 msnm, en una zona de inundación pluvial. Lo cual ayudará a entender los efectos que el vulcanismo, cambio climático y la actividad antropogénica han tenido sobre los cambios en la vegetación; siendo el primer estudio de este tipo en la región del Soconusco del Sureste de México en una zona de elevación alta.

## **2. Marco Teórico.**

### **2.1. Paleoecología.**

La paleoecología es una rama de la paleontología que se enfoca en estudios de las relaciones de los organismos y sus ambientes en el pasado, utilizando indicadores fósiles como polen, diatomeas y ostrácodos, así como técnicas geológicas y geoquímicas entre las cuales se puede mencionar el conteo de partículas de carbón orgánico e inorgánico, al igual que el contenido de elementos químicos indicadores tales como: Aluminio (Al), Magnesio (Mg), Sodio (Na) y Potasio (K) (Birks y Birks, 1980).

La paleoecología ha permitido el estudio de la historia climática tanto local como regional, asociándolo a eventos de origen natural o antrópico; y cómo estos cambios han influido en la dinámica de la zona de estudio en el pasado (Faegri e Iversen, 1989).

La datación a través de radiocarbono es una herramienta complementaria de gran importancia, ya que permite reconocer los cambios ambientales a una edad muy puntual (Islebe, 1999).

### **2.2. Polen.**

Los granos de polen son las células que contienen los gametos masculinos de las plantas con semillas y su función es la reproducción vegetal, cada especie de planta produce un tipo de polen diferente a las demás especies, por eso es posible identificar la vegetación a través de los granos de polen, cuyo tamaño va de 5 a 200 micras, por lo que solo son visibles al microscopio (Jackson y Williams, 2004).

Las plantas producen el polen en grandes cantidades y se dispersan en la atmósfera, por lo que no todos los granos llegan a fecundar otras flores, sino la mayor cantidad se depositan en zonas de acumulación de sedimentos (Figura 1);

cuando el polen se precipita en un sitio óptimo para sedimentación este quedará como un registro de las condiciones ambientales (Birks y Birks, 1980).

El polen fósil se ha utilizado ampliamente en investigaciones paleoecológicas ya que este se conserva por miles de años. La gran resistencia de estas células se la confiere un politerpeno impermeable presente en la exina de la pared celular, muy resistente a agentes químicos y físicos tales como la erosión, contacto con sustancias químicas, incendios, congelamiento o erupciones volcánicas; por otra parte, las condiciones de anoxia limitan la descomposición por agentes biológicos (Jansonius y McGregor, 1996; Patzkowsky *et al.*, 2000; Terradas, 2001).

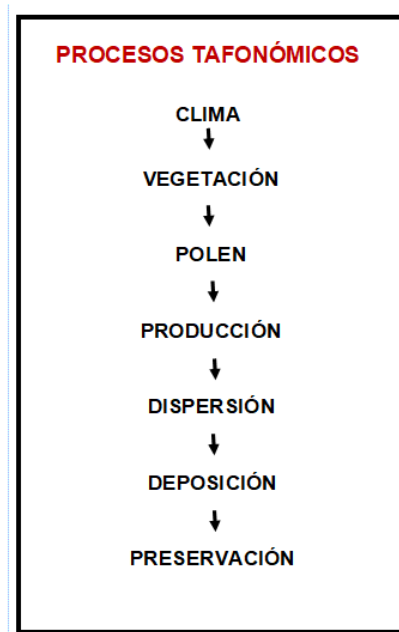


Figura 1. Proceso tafonómico de los granos de polen.

### 2.3. Holoceno y sus divisiones.

El Holoceno es el último periodo de la escala de tiempo geológica, que comenzó hace aproximadamente 11,600 años, comienza justo después del pleistoceno hasta la actualidad; posterior a la última glaciación del Pleistoceno. Las condiciones climáticas y el nivel del mar se estabilizaron durante este periodo, sin embargo, han

ocurrido fluctuaciones en el sistema climático global, regional y local (Wanner *et al.*, 2008).

El Holoceno hasta hace algunos años se clasificaba de manera informal en Holoceno inferior o temprano (10,200 a 7,700 años AP), medio (7,700 a 2,700 años AP) y tardío o superior (2,700 años AP a actualidad), de los 11,600 a 10,200 AP fue la transición Pleistoceno-Holoceno (Jordá-Pardo, 1995). Sin embargo, la International Commission on Stratigraphy (2013), modificó la división del Holoceno en tres edades o pisos: Groenlandiense (11,700 a 8,300 años AP), Norgripiense (8,300 a 4,200 años AP) y Megalayense (4,200 años AP a la actualidad) (Figura 2).

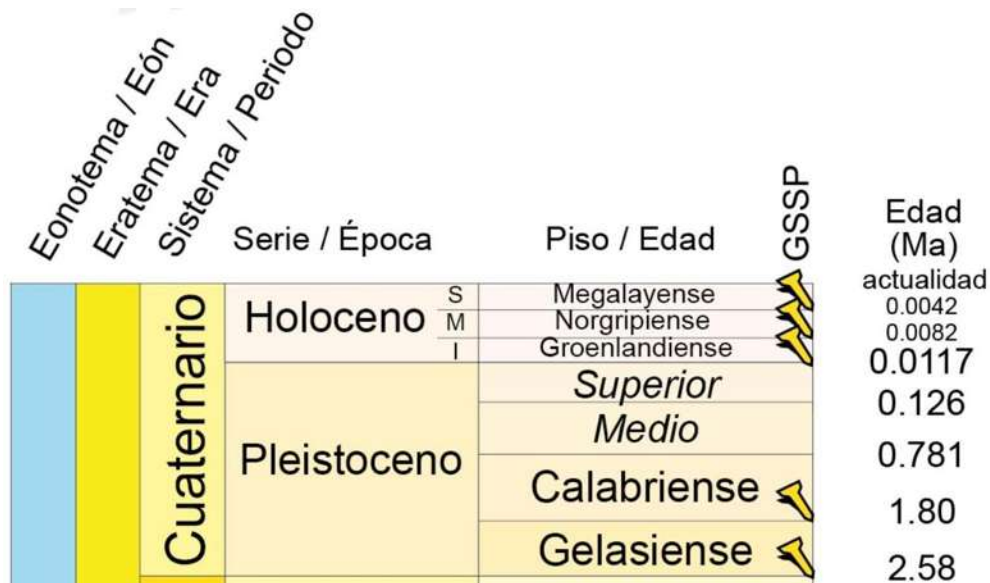


Figura 2. Modificación en la división del Holoceno (tomado de Cohen *et al.*, 2018).

#### 2.4. Cambios ambientales durante el Holoceno en Chiapas.

En el estado de Chiapas se han realizado estudios que han documentado cambios ambientales importantes durante el Holoceno, tanto en la región costera, como en la región Lacandona; coincidiendo en que las condiciones del Holoceno temprano fueron cálidas y húmedas, en el Holoceno Medio prevalecieron condiciones secas y más frías intercaladas con condiciones húmedas, y para el final

del Holoceno se han presentado fluctuaciones de condiciones secas y húmedas (Bocanegra-Ramírez *et al.*, 2019; Domínguez-Vázquez e Islebe, 2008; Franco-Gaviria, 2014), asimismo, algunos autores han registrado una sequía para el año 1200 AP la cual se ha relacionado con el colapso clásico Maya; dichos estudios están basados en enfoques multiproxy, siendo el conteo de palinomorfos el principal indicador de cambios en la vegetación de los sitios de estudio (Domínguez-Vázquez e Islebe, 2008; Neff *et al.*, 2005; Bocanegra-Ramírez *et al.*, 2019).

Los sitios muestreados para esta tesis se encuentran muy cerca de la zona costera del Océano Pacífico, en la cual se ha documentado ocupación humana desde hace más de 5000 años (Franco-Gaviria, 2014). Por lo que, al ser un sitio con una larga ocupación humana, permitirá saber cómo las actividades antropogénicas han afectado la dinámica de la vegetación aunado al cambio climático, y al vulcanismo de la zona.

## **2.5. Efecto de las erupciones en el ambiente.**

Una erupción volcánica es la emisión de material procedente del interior de la tierra a través de una abertura en la corteza terrestre, se produce cuando debajo de la abertura se acumula magma; la presión y temperatura hacen que el material salga a la superficie de diversas formas (lava, ceniza, rocas, vapor de agua y gases), asimismo la intensidad de la erupción estará determinada principalmente por la presión, temperatura, composición del magma y cantidad de gases (Tarbuck, 2000).

Cuando un volcán hace erupción modifica el relieve y los ecosistemas de su alrededor, afectando de manera diferencial, dependiendo del tipo de actividad que presente, ya sean erupciones muy violentas o solo emisión de vapor de agua. Los peligros volcánicos más frecuentes son: flujos de lava, caída de ceniza, flujos piroclásticos, lahares, gases y tsunamis (Tarbuck, 2000).

Los volcanes se clasifican de diversas formas depende de su forma, estilo de erupción, productos eruptivos, viscosidad del magma o lugar de ocurrencia; en una

primera instancia se puede dividir en dos grandes grupos, volcanes monogenéticos, aquellos que solo tienen un episodio eruptivo, y volcanes poligenéticos los cuales resultan de la acumulación de los productos a lo largo de diferentes eventos (Walker, 2000); por otra parte, se pueden clasificar las geoformas volcánicas en aquellas que general relieves positivos (Conos de escoria, lapilli y ceniza, conos de tobas, anillos de tobas y maars, domos, estratovolcanes, volcán en escudo) y los que forman relieves negativos (depresiones volcánicas o calderas) (Walker, 2000; Rodríguez-González y Fernández-Turiel, 2015).

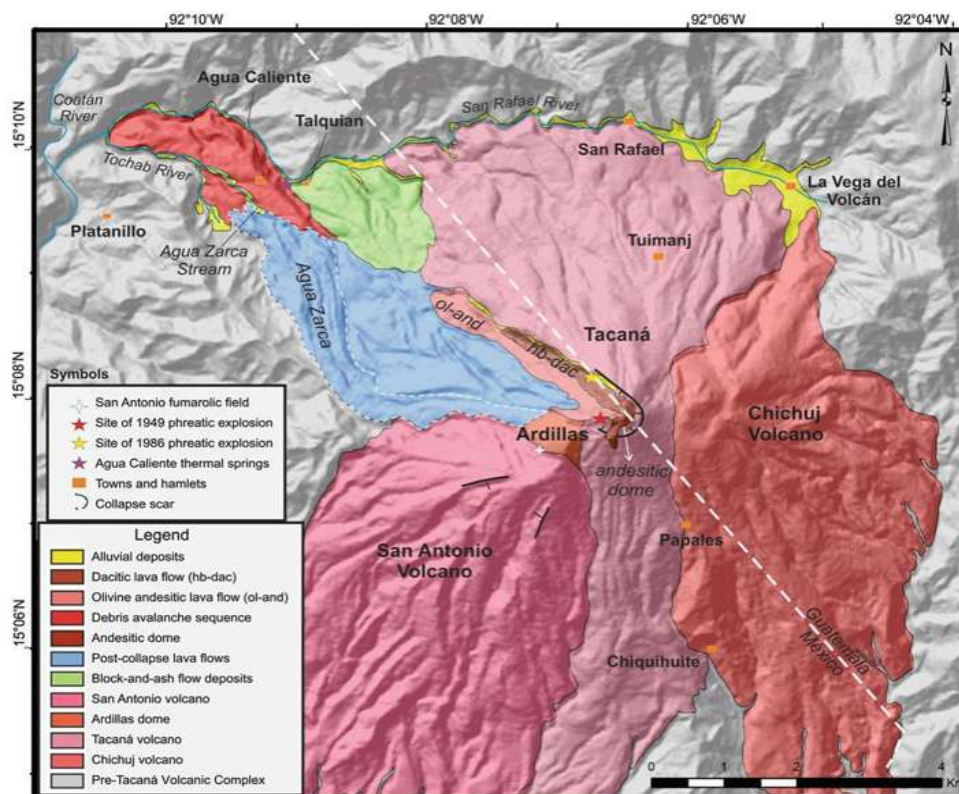


Figura 3. Mapa geológico simplificado del CVT y áreas colindantes (tomado de Macías *et al.*, 2015)

El complejo volcánico Tacaná (CVT) que está compuesto por cuatro picos que son el volcán Chichuj 3800 m.s.n.m., el volcán Tacaná 4,092 m.s.n.m., Domo Las Ardillas 3780 m.s.n.m. y el volcán San Antonio 3700 m.s.n.m. (Figura 3); los volcanes presentes son estratovolcanes que se caracterizan por la acumulación tanto de lavas y depósitos piroclásticos, Presentan perfiles cónicos más o menos

simétricos, pendientes pronunciadas que van de 10° a 35° y bases de kilómetros de diámetro (Walker, 2000; Rodríguez-González y Fernández-Turiel, 2015).

El volcán Tacaná se encuentra en la región del Soconusco en el estado de Chiapas, es un volcán activo con actividad frecuente registrada durante el Holoceno, actualmente se estima que habitan medio millón de personas cerca del edificio volcánico (INEGI, 2015; Macias y Arce, 2019).

El estudio de los efectos de la actividad volcánica en los ecosistemas del pasado es de suma importancia para poder conocer el impacto en la dinámica ecológica de la región, y conocer los efectos negativos que ha ocasionado a las poblaciones humanas asentadas en lugares próximos a un volcán.

## **2.6. Forzamientos climáticos regionales.**

El sistema climático, es dinámico y complejo, que incluye la biósfera, hidrósfera la atmósfera, la geósfera, así como sus correlaciones, sin embargo, los mecanismos de la atmósfera, son los principales determinantes climáticos; el clima es el conjunto de condiciones meteorológicas de una región en particular, en un periodo largo; este cambia con el tiempo como respuesta a factores externos, como la latitud, altitud, distancia al mar, orientación del relieve, corrientes marinas y dirección de los vientos; estos factores influyen en los componentes del clima, como la temperatura, precipitaciones o humedad (Useros-Fernandez, 2012; Islebe *et al.*, 2019).

La temperatura resulta de un equilibrio de energía, y el rompimiento de dicho equilibrio, se le denomina forzamientos climáticos, ya sea por fuerzas externas o internas, que provocan cambios climáticos generalmente de influencia regional o global (Useros-Fernandez, 2012; Islebe *et al.*, 2019)

En el sur y sureste de México, El ENSO (El Niño-Southern Oscillation), ITCZ (Intertropical Convergence Zone) y NAO (North Atlantic Oscillation), son los principales controladores del clima y de los cambios ecológicos durante el Holoceno.

Dichos forzamientos alteran el régimen de precipitación, insolación o irradiación en la región, alterando la temperatura; por lo que la vegetación responde ante esos cambios a través del tiempo a escalas mileniales o centenares (Brenner *et al.*, 2002; Islebe *et al.*, 2019).

### 3. Antecedentes.

En el sureste del país y en regiones adyacentes al área del Tacaná se han realizado algunos estudios de reconstrucciones paleoambientales.

En la costa del Pacífico en Guatemala Neff *et al.* (2005), obtuvieron un núcleo en un manglar con una edad de 6500 años, realizaron análisis químicos, polen y fitolitos para documentar la variabilidad climática del Holoceno. Con los resultados obtenidos, concluyeron que las poblaciones sedentarias de humanos habitaron la zona hace 4000 años; desde hace 2800 a 1200 años AP, hubo un gran crecimiento de la población, así como un florecimiento cultural y el clima era húmedo. Para 1200 AP, predominó un clima seco que coincidió con el colapso clásico Maya.

El colapso Maya también fue registrado en un núcleo tomado en la selva Lacandona (Domínguez-Vázquez e Islebe, 2008), donde se extrajo un núcleo de 3.4 m en el lago Naja en la región Lacandona, Chiapas, se obtuvo una edad de 2020 cal AP. El registro polínico mostró la coexistencia de un bosque tropical con un bosque de pino-encino durante el Holoceno tardío. Cabe señalar que, la presencia de taxa de polen secundarios y partículas de carbón eran abundantes, sugiriendo algún grado de impacto antrópico. Entre 1260 a 730 cal AP, se registró un incremento en el género *Pinus* a la vez una disminución de taxa de bosque tropical lo cual sugiere que hubo una sequía, que puede ser la explicación del colapso de la cultura maya (Franco-Gaviria, 2014)

En el delta del río Usumacinta-Grijalva (Nooren *et al.*, 2009) se analizó un núcleo con el propósito de determinar los efectos de las erupciones del volcán Chichonal durante el Holoceno tardío durante los últimos 2100 años. Encontraron siete capas de tefra relacionadas con erupciones que tuvieron un fuerte impacto en la dinámica poblacional de la región. Se registró un evento eruptivo de grandes dimensiones en el año 539 dC, este evento tuvo efectos negativos en la civilización Maya, además de algunos cambios ambientales mundiales.

Otro estudio de relevancia se realizó en la laguna La Joya en la costa de Chiapas (Bocanegra-Ramírez *et al.*, 2019), obteniendo un núcleo de 2.75 m y que abarca los últimos ca. 5600 AP. Realizaron diversos análisis de proxys como polen, diatomeas, susceptibilidad magnética y análisis elemental, logrando identificar los siguientes cambios ambientales durante el Holoceno. De 5600 hasta 3200 AP, persistió un ambiente marino; de los 3200 a 1100 años AP, el registro indica un ambiente transicional hacia una laguna y a partir de 1100 años AP la laguna se cierra, quedando aislada del mar. De igual manera encontraron polen de *cucurbita* de la familia Cucurbitaceae y taxa asociados a disturbio y agricultura, desde hace 5000 años, lo cual indica la presencia de actividad humana en la zona.

La zona del Soconusco donde se encuentra el volcán Tacaná, a pesar de ser una zona de gran importancia biológica, por su alta biodiversidad, no se han realizado estudios paleoecológicos, que pretendan comprender los cambios paleovegetacionales, ocurridos durante el Holoceno como consecuencia de la actividad volcánica, climática y antropogénica.

### **3.1. Actividad Volcánica del Tacaná durante el Holoceno.**

La actividad volcánica en México durante el Holoceno ha sido recurrente, diversas manifestaciones de actividad volcánica se han registrado a lo largo del país, ya sea de volcanes monogénéticos o poligenéticos. Dentro de los volcanes con actividad volcánica periódica, se encuentra el volcán Tacaná (Tabla 1), cabe resaltar que no se incluye actividad freática, como la ocurrida en el año 1986 (Macias y Arce, 2019).

Tabla 1. Actividad del Volcán Tacaná durante el Holoceno (Macias y Arce, 2019).

<b>Depósito</b>	<b>Edad convencional (años AP)</b>
Flujo de cenizas, Once de Abril	9960 ± 50
Flujo de cenizas, Papales 1	7630 ± 115
Depósito de flujo, Chocab	6910 ± 95
Oleada piroclástica	5860 ± 125
Oleada piroclástica	2660 ± 55/-50
Flujo de bloques y cenizas, Mixcum	1950 ± 50
Flujo de escoria	920 ± 50
Caída de pómez	810 ± 110
Flujo piroclástico amarillo	370 ± 80
Flujo de cenizas, Papales 2	280 ± 60
Caída de pómez	150 ± 40

Rodríguez-Vázquez (2010) realizó un estudio sobre el impacto de las erupciones volcánicas en el Tacaná durante el Preclásico, en el cual relaciona el abandono de la Zona arqueológica de Izapa hace 1950 ± 50 años AP, con una erupción de tipo peleana.

### 3.2. Estudios de polen moderno en la región.

Los estudios de polen actual son de suma importancia ya que con ellos se obtienen los análogos que nos indican las relaciones entre el tipo de vegetación y los porcentajes de polen producidos (espectro polínico), este espectro polínico se utiliza para realizar las interpretaciones de los tipos de vegetación y clima, que existieron en el pasado en un área determinada. En el volcán Tacaná, el único trabajo polínico que existe es el realizado por Hidalgo-Juárez (2018), quién realizó un estudio de las relaciones de la lluvia de polen y los tipos de vegetación a lo largo de todo el gradiente altitudinal del volcán (500 a 4000 m.s.n.m.); logrando diferenciar cuatro diferentes tipos de vegetación: bosque de *Pinus*, bosque de *Alnus-Pinus*, bosque mesófilo de montaña y bosque tropical perennifolio. El bosque de *Pinus* está dominado por los taxa, *Pinus* y *Alnus*; el bosque de *Alnus-Pinus* por *Alnus* y *Pinus*; el bosque mesófilo de montaña por *Alnus*, *Bombacaceae*, *Anacardiaceae*, *Moraceae* y *Quercus*; y el bosque tropical perennifolio por los taxa *Moraceae*, *Bombacaceae*, *Cecropia*, *Fabaceae* y *Bignoniaceae*.

#### **4. Hipótesis.**

Los cambios en la vegetación durante el Holoceno tardío en el Cráter del edificio volcánico estarán estrechamente relacionados a su actividad volcánica, y cambios en el clima, en contraparte, los cambios vegetacionales en la zona baja del volcán, estarán relacionados a la influencia antropogénica ocasionada por los diferentes grupos poblacionales que han habitado en la zona y a cambios climáticos.

#### **5. Objetivos.**

##### **5.1. General.**

- Determinar mediante el análisis polínico las comunidades vegetales y el clima dominantes tanto en el cráter como en la base del volcán Tacaná, en el estado de Chiapas, México, durante el Holoceno tardío.

##### **5.2. Específicos.**

- Relacionar las comunidades vegetales obtenidas en los espectros polínicos de los últimos 2000 años en dos núcleos obtenidos.
- Identificar los factores que causan los cambios en vegetación y clima, durante los últimos años de historia del Volcán Tacaná.
- Realizar un catálogo palinológico con los granos de polen identificados en las muestras de los núcleos obtenidos.

## 6. Área de estudio.

### 6.1. Localización geográfica.

El volcán Tacaná es un estratovolcán activo con una extensión aproximada de 300 Km<sup>2</sup> y una altitud de 4092 m.s.n.m.; se encuentra al sureste de México, en la frontera con Guatemala. La línea fronteriza divide al volcán en una zona mexicana y en una zona guatemalteca (Figura 4). En los municipios de Cacahoatán, Unión Juárez y Tapachula, en el estado de Chiapas, y en el departamento de San Marcos, en Guatemala (IHNE, 2000; INEGI, 2015; Jiménez-Haro, 2015).

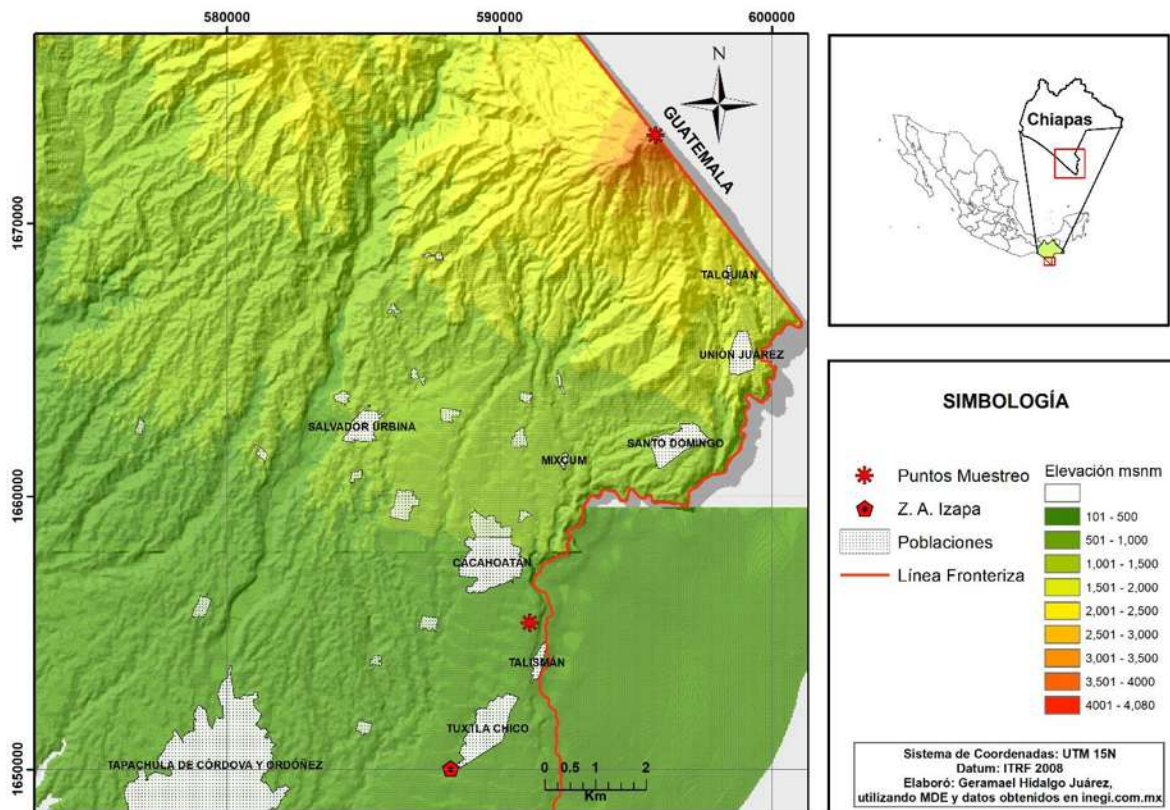


Figura 4. Ubicación geográfica del área de estudio y sitios donde se obtuvieron los núcleos de sedimentos.

## **6.2. Fisiografía.**

El Tacaná se encuentra en la región llamada Sierra Madre de Chiapas, que consiste en una franja de montañas, esta franja atraviesa el estado paralelo a la línea costera y termina en el Tacaná. Dicha región tiene una longitud aproximada de 250 km. En esta región destaca la presencia del parque natural “El Triunfo” y la reserva de la biosfera “La Sepultura” (INEGI, 2015).

## **6.3. Geología.**

El volcán Tacaná se encuentra dentro del Arco Volcánico Centroamericano (AVC) que es una cadena de volcanes que se extiende desde la frontera de México con Guatemala; donde se ubica el volcán Tacaná, hasta Costa Rica y tiene una longitud de 1,300 km. Forma parte del complejo volcánico Tacaná (CVT) que está compuesto por cuatro picos que son el volcán Chichuj 3800 m.s.n.m., el volcán Tacaná 4,092 m.s.n.m., Domo Las Ardillas 3780 m.s.n.m. y el volcán San Antonio 3700 m.s.n.m.. (Figura 3), El Tacaná está en el punto triple conformado por las placas tectónicas, norteamericana, Caribe y Cocos (Mora *et al.* 2004; Jiménez-Haro, 2015).

El CVT está compuesto principalmente por andesitas con una asociación mineralógica de plagioclasa, augita, hiperstena+óxidos de hierro y en ocasiones hornblenda. En menor proporción se presentan dacitas con la misma composición mineralógica, formando esencialmente lavas o domos viscosos. El volcán Chichuj ha generado flujos de lava y domos andesíticos. El volcán Tacaná presenta flujos de lava basáltico andesíticos, flujos de lava y domos andesíticos y dacíticos, y flujos piroclásticos con líticos juveniles de composición andesítica. El volcán San Antonio ha originado flujos de lava andesíticos y domos dacíticos (Mora *et al.* 2004; Macías, 2005)

#### 6.4. Hidrología.

El volcán Tacaná se encuentra en la región hidrológica RH-23 costa de Chiapas, en la vertiente del Pacífico, los ríos que drenan el área son principalmente el río Coatán y Suchiate, los cuales desembocan en el Océano Pacífico a 60 km de distancia (Figura 5); las cuencas que se originan en el volcán y el cauce son de suma importancia para el desarrollo de las actividades agrícolas, ganaderas y de servicios ambientales en la región (Macias *et al.*, 2015; INEGI, 2015).

La zona de estudio se encuentra dentro de una de las regiones más húmedas del país que llega a alcanzar hasta 4,400 mm de precipitación en algunos sitios (CONAGUA, 2006).

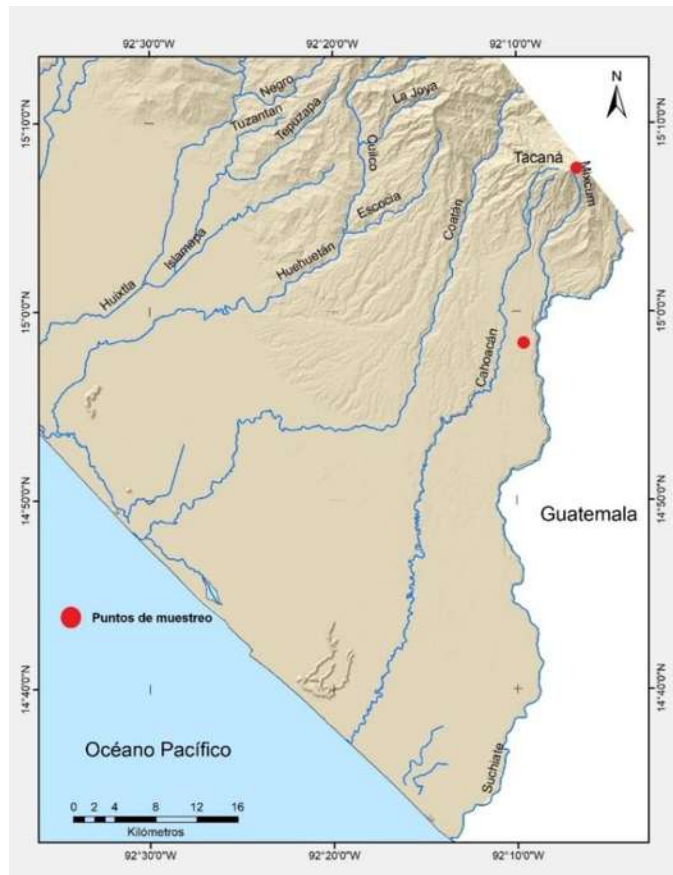


Figura 5. Modelo de relieve de la cuenca Tacaná-Boquerón, en el cual se muestran las principales vías de drenaje y los puntos de muestreo.

## 6.5. Clima.

Según la clasificación climática de Köppen (1936), modificada por García (1964) los climas que predominan en el volcán Tacaná son:

Templado húmedo con abundantes lluvias en verano **C(m) (w)ig**. Se encuentra en las partes altas del volcán, a partir de los 2000 msnm La temperatura media anual es de 15.3°C, en los meses de enero y febrero se presentan temperaturas entre 3 y 6°C, precipitaciones altas de mayo a octubre.

Semicálido húmedo con abundantes lluvias en verano **A(C)m (w)ig**. Su distribución se encuentra en las partes medias del volcán, de los 1400 a 2000 m.s.n.m., la temperatura promedio anual es de 20.7°C.

Cálido húmedo **Am (w)ig**. Se presenta en las partes más bajas del volcán, de los 500 a 1400 m.s.n.m., la temperatura promedio anual es de 24.3°C.

## 6.6. Vegetación.

El Tacaná, a lo largo de su gradiente de elevación, que alcanza 4092 msnm, presenta una amplia diversidad de comunidades vegetales, destacando la presencia del páramo de montaña en las partes más altas del volcán y el chusqueal cuya presencia se restringe a las paredes de las cañadas pedregosas de los 2300 a los 4000 m.s.n.m., estos dos tipos de vegetación en México solo se encuentran en el Tacaná (Miranda, 1952; Breedlove, 1981).

Se estima que la diversidad de plantas en la región Tacaná-Boquerón, supera las 2,000 especies, pertenecientes a helechos y afines, a las gimnospermas, monocotiledóneas y dicotiledóneas, que representa aproximadamente el 25 % de la flora de Chiapas (Martínez-Camilo *et al.*, 2017).

Se han hecho esfuerzos para generar un listado florístico completo de la región, así como determinar los tipos de vegetación presentes en el área de estudio (Figura

6) (Martínez-Camilo *et al.*, 2017), a continuación, se describen los tipos de vegetación que se distribuyen en el Tacaná:

**Bosque de *Pinus*:** Un tipo de vegetación con una distribución amplia, se distribuye de los 2800 a los 4000 msnm. Está dominada por especies del género *Pinus*, de las que las más frecuentes son *P. tecunumanii*, *P. hartwegii* y *P. devoniana*.

**Bosque de *Abies*:** Este tipo de vegetación tiene una distribución restringida, por arriba de los 3500 a 4000 msnm. Estos bosques están dominados por la especie *Abies guatemalensis* y con pequeñas porciones de la especie *Juniperus standleyi*.

**Bosque de *Alnus-Pinus*:** Son bosques que se distribuyen de los 2600 a los 3000 msnm. Este tipo de vegetación está dominado por árboles de *Alnus acuminata* y *A. acuminata subsp. Arguta*, así como una presencia importante de especies del género *Pinus* como *P. tecunumanii* y *P. hartwegii*.

**Bosque mesófilo de montaña:** estas comunidades vegetales se encuentran desde los 1700 a los 2600 msnm. Se trata de una categoría con diferentes comunidades. Las más importantes están dominadas por diversas especies de árboles del género *Quercus* tales como, *Q. benthamii*, *Q. skinneri* y *Q. lancifolia*, Otros géneros y especies que son frecuentes son *Amphitecna montana* (Bignoniaceae), *Glossostipula concinna* (Rubiaceae), *Oreopanax xalapensis* (Araliaceae), *Dendropanax arboreus* y *D. leptopodus* (Araliaceae), especies de los géneros de Lauraceae (*Ocotea*, *Nectandra*, *Persea*) y especies de los géneros *Symplocos* (Symplocaceae), *Conostegia*, *Miconia* y *Meryania* (Melastomataceae), *Saurauia* (Actinidiaceae), *Arachnothryx*, *Psychotria* y *Rondeletia* (Rubiaceae).

**Bosque tropical perennifolio:** es la comunidad vegetal más extensa de la región, se encuentra distribuida desde 500 a 1700 msnm. Abarca a la selva alta perennifolia, selva mediana perennifolia, selva alta subperennifolia. Y es la asociación vegetal con el mayor impacto antropogénico, ya que ha sido transformada principalmente para la siembra de café en la zona. Se caracteriza por

ser una comunidad muy variada y diversa, en las cuales las especies representativas son: *Inga spp.* (Fabaceae), *Alchornea latifolia* (Euphorbiaceae), *Rhamnus spp.* (Rhamnaceae), *Saurauia spp.* (Actinidiaceae), *Trichospermum mexicanum* (Tiliaceae). *Pseudobombax ellipticum* (Bombaceae), *Ficus spp.* (Moraceae), *Erythrina sp.* (Fabaceae) y *Citharexylum* (Verbenaceae).

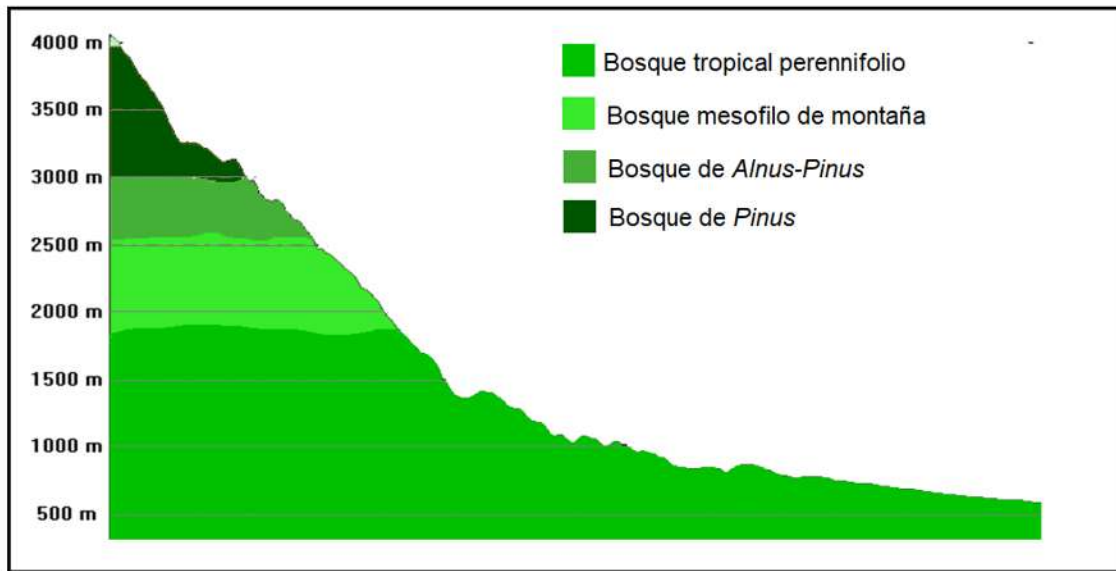


Figura 6. Distribución altitudinal de los tipos de vegetación presentes en el volcán Tacaná.

## **7. Materiales y métodos.**

### **7.1. Trabajo de campo.**

Se obtuvieron 2 núcleos de sedimentos; en el cráter del volcán Tacaná ya que es la zona de sedimentación de mayor elevación (4000 msnm) y en un sitio de inundación pluvial en la base del edificio volcánico (500 msnm), que no está influenciado por el acarreo de agua y materiales de un río (Figura 5); para comparar los cambios ambientales ocurridos tanto en las zonas de mayor elevación y ver los cambios asociados únicamente a eventos naturales, así como, las tierras bajas para comprender los cambios asociados tanto a eventos naturales y acción antrópica; se utilizaron tubos PVC hidráulicos de doble pared de 100 cm de largo por 5 cm de ancho, se sellaron para evitar deformaciones, contaminación y daños durante su transporte, los tubos se rotularon con datos de campo, localidad, fecha y profundidad. El núcleo se trasladó al laboratorio de palinología.

### **7.2. Trabajo de laboratorio.**

#### **7.2.1. Fechamiento.**

Se enviaron 2 muestras para su fechamiento mediante medición de Carbono-14 mediante espectrofotometría, la primera a los 40 cm del núcleo cráter y la segunda 96 cm en el núcleo de la base (Rancho INIFAP), al laboratorio Beta Analytic en Miami, Florida. La muestra del cráter se seleccionó a 40 cm ya que es donde termina la parte más orgánica del núcleo, y comienza un evento masivo de ceniza volcánica. El núcleo tomado en el INIFAP consistía de material orgánico, por lo que se escogió fechar la base para conocer la edad que abarcaría todo el núcleo y así realizar un modelo de edad.

### **7.2.2. Estratigrafía.**

Se realizó la estratigrafía a detalle, para determinar variaciones a lo largo de la secuencia, que se asocian a cambios importantes en la sedimentación, que nos permitan inferir cambios ambientales. Tomando en cuenta, el tipo de sedimento, textura, color, grosor de los niveles, reacción al ácido clorhídrico y al peróxido de hidrógeno. La estratigrafía fue dibujada utilizando el software SedLog 3.1 (Zervas *et al.*, 2009).

### **7.2.3. Análisis palinológico.**

El núcleo se muestreó a cada 2 cm para extraer los granos de polen y esporas. Se tomó 1  $cm^3$  y se aplicó la técnica de ácidos y acetólisis de Ertman (1952), utilizando 1 pastilla de *Lycopodium* como marcador foráneo (Stockmarr, 1971).

Las muestras se disolvieron en 10 ml de ácido clorhídrico (HCl) al 10% y se calentaron por 10 minutos para eliminar carbonatos, se centrifugaron a 3000 RPM por 5 minutos, se decantaron y se enjuagaron con agua destilada hasta obtener un pH neutro. Después se les agregó 10 ml de hidróxido de potasio (KOH) al 10% y se calentaron por 20 minutos para eliminar ácidos húmicos, las muestras se centrifugaron por el mismo tiempo y RPM, se decantaron las muestras y se enjugó una vez. Se realizó el proceso de tamizado a las muestras para eliminar el exceso de sedimentos y se realizaron dos enjuagues. Se les colocó 5 ml de ácido fluorhídrico (HF) al 36% y se dejó por 24 horas para eliminar silicatos, transcurrido ese tiempo se centrifuga por 5 minutos a 3000 RPM y se decanta el HF. Se agregó por segunda ocasión HCl al 10%, repitiendo el mismo proceso de centrifugado y enjuagado. Finalmente se sometieron las muestras a solución acetolítica que es una mezcla de ácido sulfúrico con ácido acético glacial en proporción 1:9, y se calentaron por 25 minutos, para posteriormente centrifugar, decantar y enjuagar las muestras. El sobrenadante fue colocado en goteros, a los cuales se les agregó glicerina para conservar y safranina como colorante para los granos de polen.

#### **7.2.4. Identificación y conteo de los palinomorfos.**

Los palinomorfos se identificaron y cuantificaron utilizando microscopía óptica a 400x, se colocaron muestras en laminillas selladas con esmalte. Se realizó un conteo mínimo de 300 granos de polen. Para la identificación de los granos de polen se utilizaron manuales y guías palinológicas tales como: el catálogo de los Tuxtlas, Veracruz (Lozano-García y Martínez-Hernández, 1990); el catálogo de polen y esporas de Barro Colorado (Roubik y Moreno, 1991); la flora palinológica de la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an, Quintana Roo (Palacios Chávez *et al.* 1991) y el catálogo de polen utilizado por abejas del Volcán Tacaná (Martínez-Hernández *et al.* 1993), asimismo se contó con el apoyo de la colección palinológica de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo a cargo de la Dra. Gabriela Domínguez Vázquez.

#### **7.3. Procesamiento de datos.**

Con los datos obtenidos en el conteo e identificación de los palinomorfos se crearon diagramas palinológicos, primero se registraron en una base de datos en Excel, posteriormente se exportaron a Tilia versión 1.7.16 (Grimm, 2011) y PAST (Hammer *et al.* 2001).

Se calculó la concentración de granos de polen, como una forma indirecta de conocer la productividad polínica en el ecosistema. La cual se obtuvo utilizando la siguiente fórmula:

Productividad polínica = (granos de polen contabilizados × número total de *Lycopodium*)/(*Lycopodium* contabilizado).

## 8. Resultados.

### 8.1. Núcleo cráter.

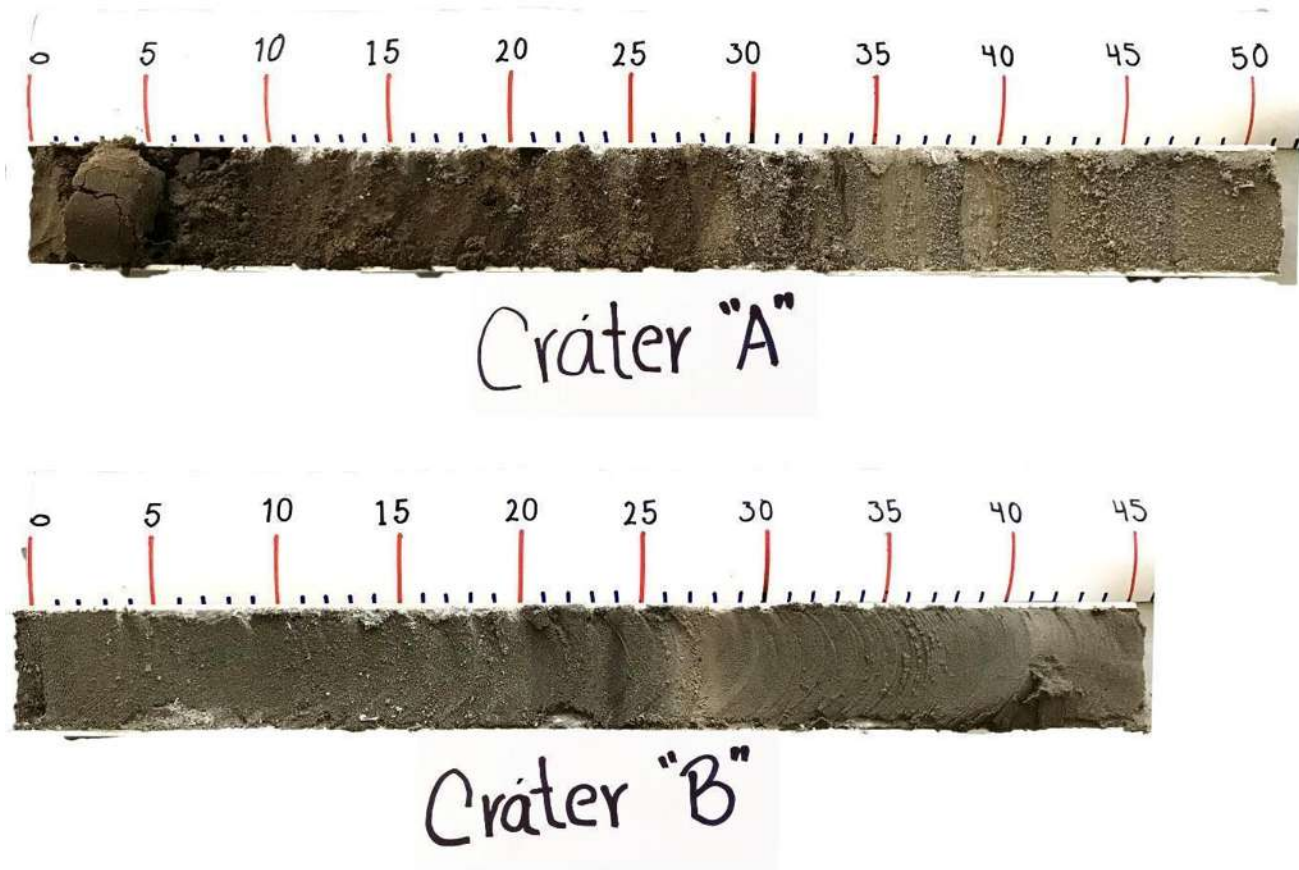


Figura 7. Núcleo obtenido en el Cráter del volcán Tacaná.

#### 8.1.1. Estratigrafía.

La estratigrafía del núcleo obtenido en la base del volcán de 95 cm de largo (figura 7 y 8), se describe a continuación:

El núcleo está constituido por tres paquetes, el primero y segundo de origen volcánico y el tercero, hacia la cima de origen aluvial.

El primer paquete volcánico consiste en intercalaciones de cenizas muy finas color gris oscuro de dos centímetros de espesor. Los primeros 17 cm de la base, este paquete es gris oscuro y pasa en contacto brusco a un paquete con intercalaciones de ceniza muy fina a gruesa de color gris claro con espesores de dos centímetros en promedio, interrumpidos en la zona intermedia, por una emisión de ceniza masiva de 23 cm. Sobreyaciendo el evento volcánico y en contacto erosivo aparece el tercer nivel correspondiente a un limo fino color café oscuro que corona la secuencia.

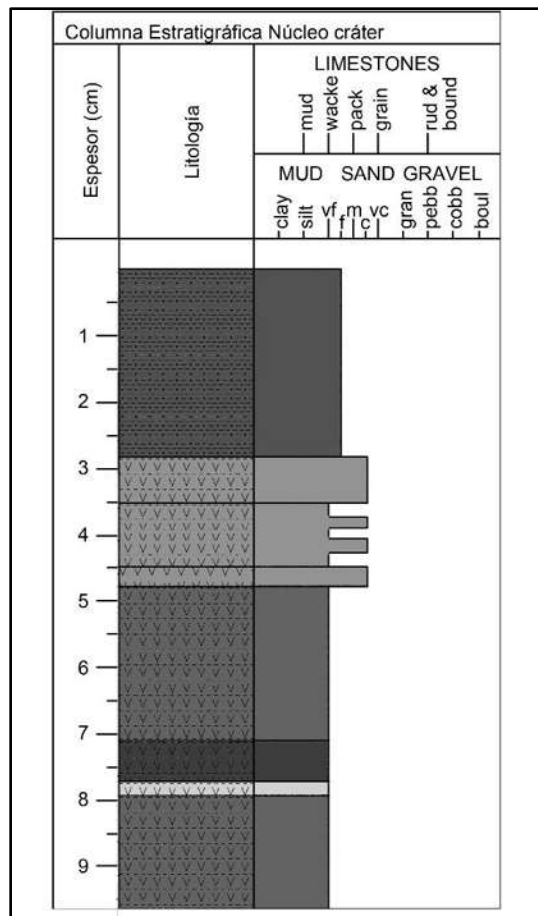


Figura 8. Columna estratigráfica del núcleo cráter.

Profundidad (cm)	Descripción estratigráfica
0-28	Nivel orgánico, con limos finos color café oscuro.
28-35	Ceniza volcánica gruesa, color gris claro, contacto brusco.
35-37	Ceniza volcánica muy fina, color gris claro, contacto brusco.
37-38.5	Ceniza volcánica gruesa, color gris claro, contacto brusco.
38.5-40	Ceniza volcánica muy fina, color gris claro, contacto brusco.
40-42	Ceniza volcánica gruesa, color gris claro, contacto brusco.
42-44	Ceniza volcánica muy fina, color gris claro, contacto brusco
44-47	Ceniza volcánica gruesa, color gris claro, contacto brusco
47-70	Ceniza volcánica muy fina, color gris oscuro, contacto brusco
70-76	Ceniza volcánica muy fina, color gris muy oscuro, contacto brusco
76-78	Ceniza volcánica muy fina, color gris muy claro, contacto brusco
78-95	Ceniza volcánica muy fina, color gris oscuro, contacto brusco

### 8.1.2. Fechamiento.

La muestra del cráter del Tacaná fue fechada por AMS a 40 cm de profundidad y arrojó una edad de 1520 +/- 30 años AP. Por lo que un centímetro de sedimentos equivaldría a 34.7 años, y la tasa de sedimentación tiene un valor de 0.028 cm/año (Figura 9). Sin embargo, siendo una secuencia de eventos volcánicos cuyos pulsos

pueden depositar volúmenes variables de sus depósitos, no es posible inferir la tasa de sedimentación (Tabla 2).

Tabla 2. Fechamiento de la muestra del núcleo cráter.

Muestra	Profundidad	Edad radiocarbono	Calibración AP	Tasa de sedimentación (cm/año)
Tacaná	40	1520 +/- 30	1388	0.028

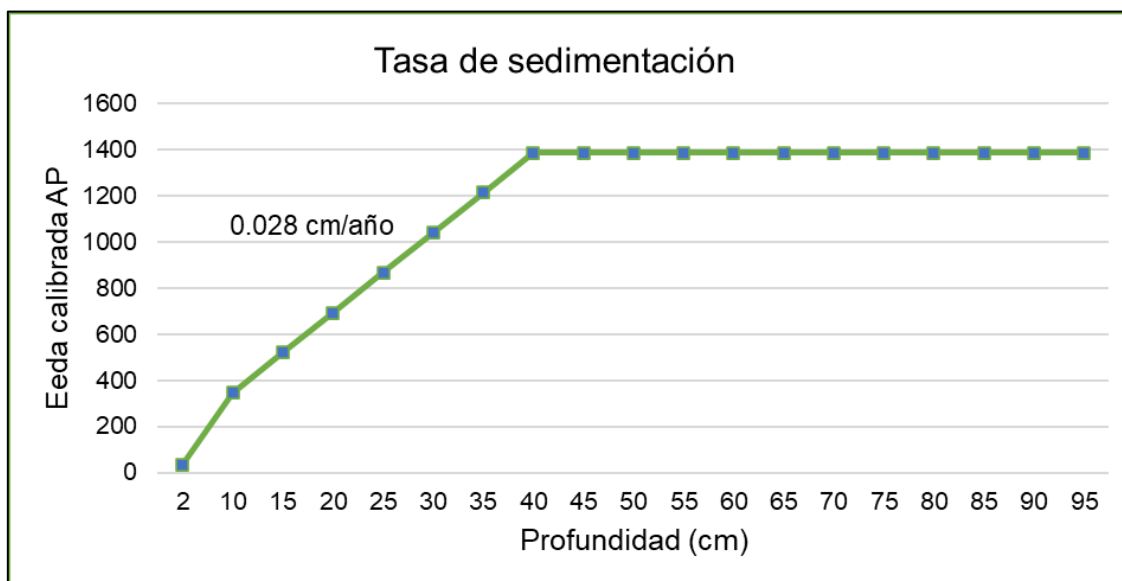


Figura 9. Curva de edad y tasa de sedimentación del núcleo cráter.

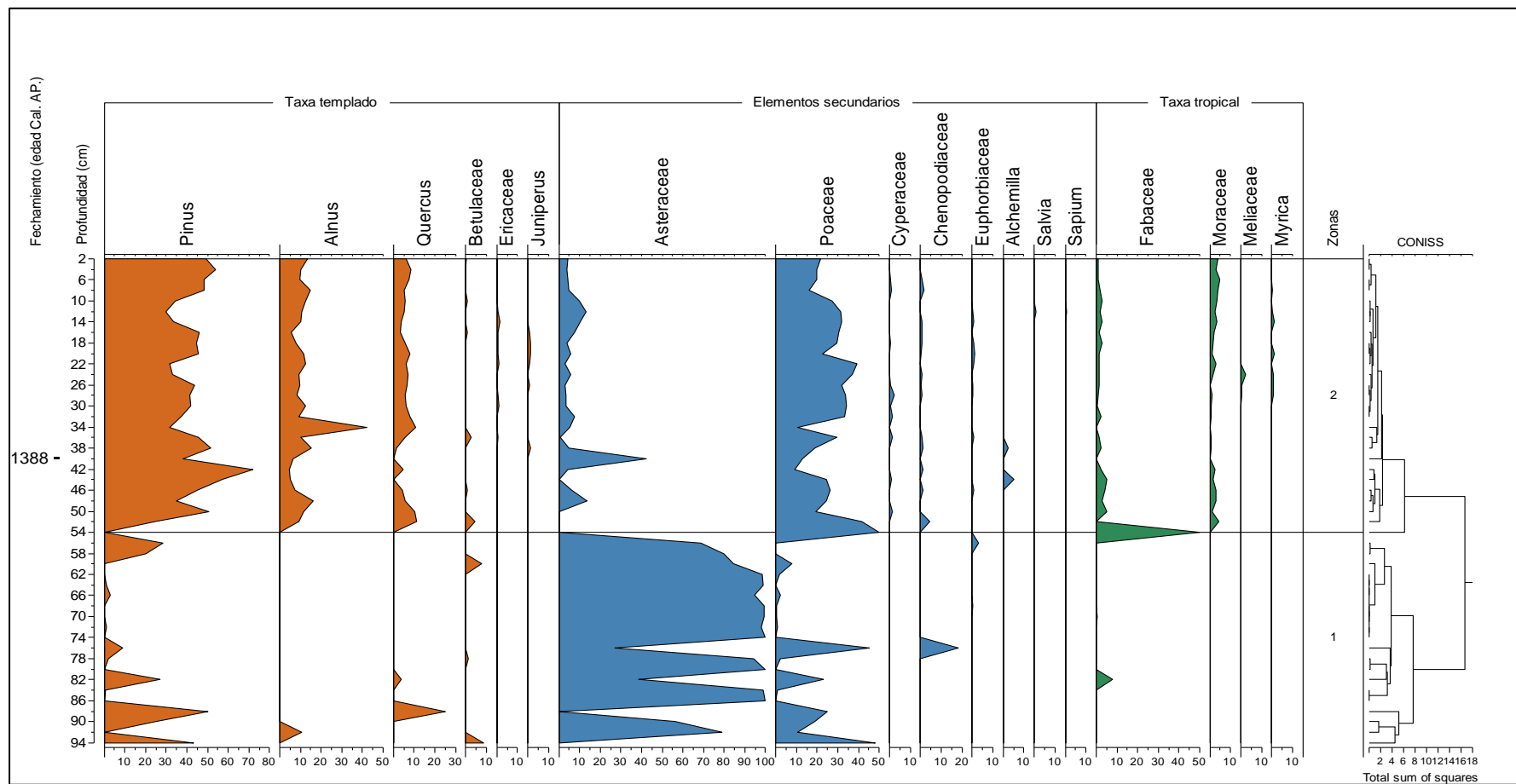


Figura 10. Diagrama de polen con los principales tipos polínicos identificados en el Núcleo Cráter.

### 8.1.3. Diagrama polínico.

Se obtuvo el diagrama polínico del núcleo obtenido en el cráter, se identificaron 33 tipos polínicos, los más abundantes fueron Asteraceae, *Pinus*, Poaceae, *Alnus* y *Quercus* (figura 10).

Los taxa polínicos se dividieron en 3 grandes grupos: taxa templados, taxa tropicales y hierbas, de acuerdo con su afinidad ecológica, basado en el tipo de vegetación en que se encuentran (figura 10, 11 y 12).

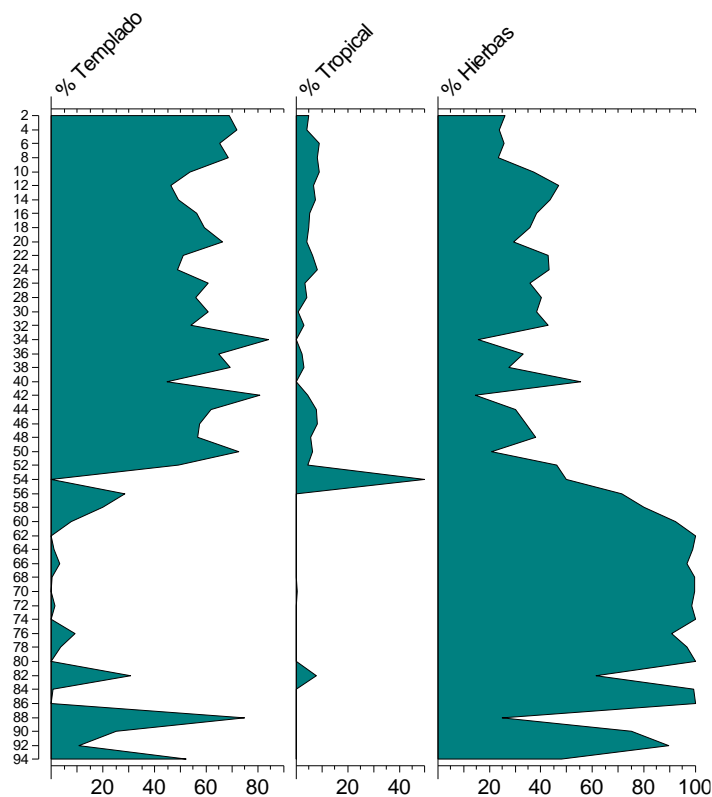


Figura 11. Porcentaje de los elementos templados, tropicales y hierbas del Núcleo Cráter.

El dendrograma (figura 10) dividió el registro polínico en 2 zonas: Zona 1 de 94 a 54 y la zona 2 de 54 a 2 cm de profundidad.

De 94 a 54 cm de profundidad, se observa una dominancia en los taxa no arbóreos (Figura 12), siendo los taxa que presentaron los mayores porcentajes. Asteraceae con hasta 100% y Poaceae que varía de 20 a 60 %. Mientras que de los 54 a los 2 cm de profundidad, los elementos más representativos fueron los taxa arbóreos, como *Pinus*, con valores que varían de 40 a 70 %, *Alnus* valores que van de los 10 a 20 %, observándose un pico de esta especie a los 34 cm (Figura 10, 11 y 12).

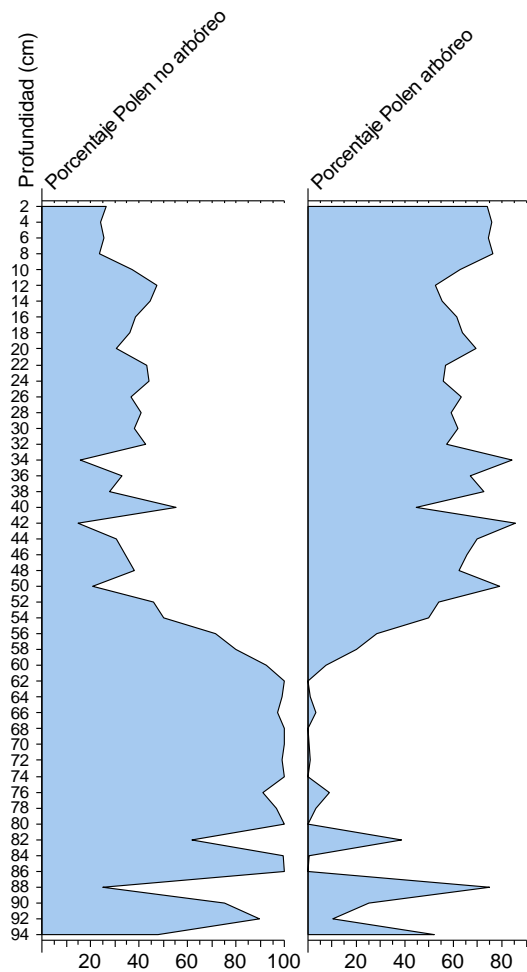


Figura 12. Porcentajes de Polen no arbóreo (PNA) y Polen arbóreo (PA) del Núcleo Cráter.

### **Zona 1 (94-54).**

La base de la zona, a 94 cm comienza con una dominancia de Poaceae 50 % y *Pinus* 40 %; a los 92 cm, Asteraceae tiene un pico de 80 % y Poaceae disminuye a 10 %; de 90 a 86 cm, *Pinus* alcanza 50 %, y Poaceae aumenta a 20%; de los 86 a los 60 cm, Asteraceae domina el espectro polínico con hasta el 100%, solo algunos picos de *Pinus* y Poaceae a los 82 cm, con 30 % y 30 % respectivamente; a los 76 cm, se presenta un aumento de Poaceae con 40% Y Chenopodiaceae 20%; de 60 a 54 *Pinus* tiene un aumento de 30 a 40%, mientras que Asteraceae disminuye a 70 y 60 %.

### **Zona 2 (54-2).**

La base de la zona comienza con una dominancia de Fabaceae con 50%, y Poaceae 50 %; de 52 a 46 cm, está dominado por *Pinus* con 50%, Poaceae 20%, *Alnus* y *Quercus* tienen presencia importante con 15 % cada uno; de 46 a 40 los porcentajes de *Pinus* aumentan hasta 80% mientras que los porcentajes de Poaceae disminuyen hasta 10%, por su parte *Alnus* y *Quercus* representan hasta 10% cada uno; a los 40 cm de profundidad Asteraceae tiene un pico importante de 50 % de presencia, mientras que los porcentajes de *Pinus* disminuyen a 30% y Poaceae se mantiene con 10%; de 38 a 34 cm se caracteriza por un aumento importante de Poaceae y de *Pinus* 40% cada uno, *Alnus* y *Quercus* comienzan a aumentar sus porcentajes; a 34 cm *Alnus* presenta un pico de 50% y *Quercus* alcanza su mayor representación con 20%, por su parte *Pinus* y Poaceae, presentan un descenso en sus porcentajes; de 32 a 26 cm, *Pinus* y Poaceae vuelven a dominar el diagrama, con 40 y 30 % respectivamente, *Alnus* y *Quercus* disminuyen a una proporción 10 %; de los 26 a 20 cm, *Pinus* tiene un descenso en el porcentaje de presencia a 30%, Poaceae aumenta a 40%, *Quercus* y *Alnus* mantienen los porcentajes de representación en 10%; de 20 a 16 cm, *Pinus* aumenta sus porcentajes a 50 %, por su parte Poaceae disminuye a 30%, *Alnus* y *Quercus* presentan un ligero descenso en los porcentajes a 5%; de 16 a 10 cm los porcentajes de *Pinus* disminuyen a 30%, por su parte Poaceae mantiene porcentajes de 30%, Asteraceae presenta un pico de 20%, *Alnus* y *Quercus*

recuperan el 10% de representatividad; finalmente de 10 a 2 cm, *Pinus* domina el espectro con 60% y Poaceae disminuye a 20%, *Alnus* 10% y *Quercus* 10%.

#### 8.1.4. Productividad polínica.

La productividad polínica (figura 13), es la cantidad de granos de polen que se encuentran en 1 cm<sup>3</sup> de sedimento. De 95 a 34 cm se observa un descenso importante en la productividad polínica, y de 34 hacia la cima la productividad tiene valores muy altos, superando los 100,000 granos de polen. A 68 cm de profundidad se presenta el valor máximo de productividad con 225,000 granos de polen, y el valor mínimo a los 88 cm con 570 granos.

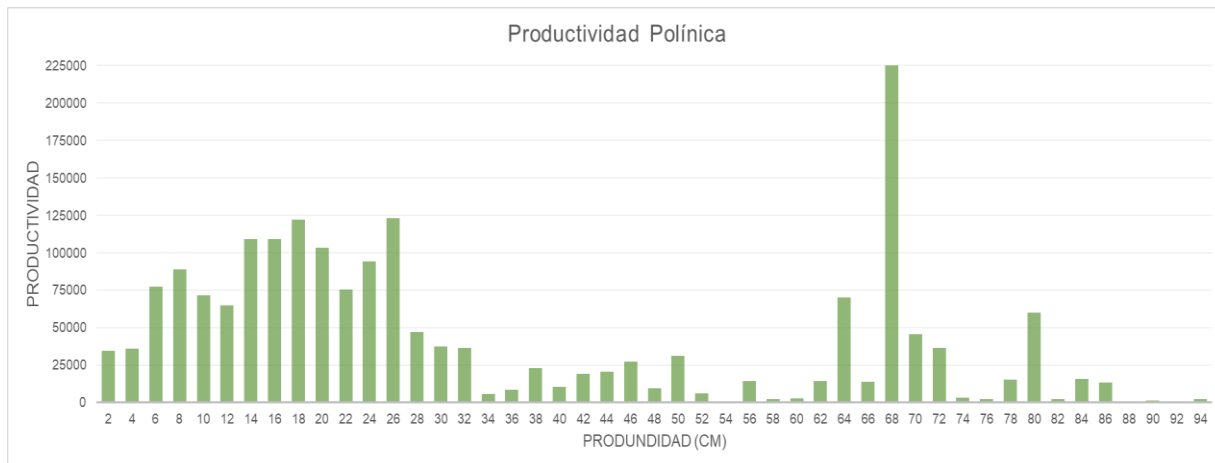


Figura 13. Productividad polínica del Núcleo Cráter.

## 8.2. Núcleo base del volcán (rancho INIFAP).



Figura 14. Núcleo obtenido en un sitio de inundación, en la base del volcán Tacaná (Rancho INIFAP).

### 8.2.1. Estratigrafía.

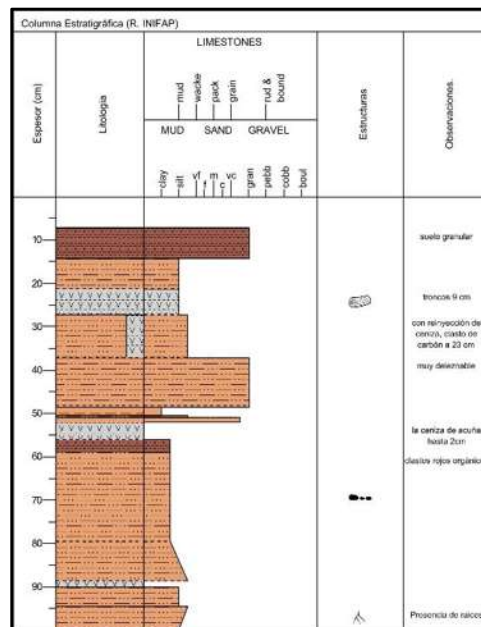


Figura 15. Columna estratigráfica del núcleo rancho INIFAP.

La estratigrafía del núcleo obtenido en la base del volcán de 96.5 cm de largo (figura 14 y 15), se describe a continuación:

La secuencia consiste en cuatro paquetes limosos que se intercalan con tres episodios de ceniza volcánica.

El primer paquete consiste en un estrato de 10 cm de un limo con concreciones que presenta restos de raíces y algunos lentes de ceniza hacia la cima. Este paquete viene cubierto por un depósito de ceniza fina color gris oscuro con clastos de hasta 5mm. Sobreyaciendo, en contacto transicional aparece el segundo paquete limoso con 32 cm de espesor, siendo más café rojizo hacia la cima. Sucesivamente, y en contacto discordante, se deposita una ceniza fina con lentes de materia orgánica. Este depósito viene cubierto en discordancia por un limo orgánico café, con espesor de 25 cm, y se distingue que es más orgánico en la base y centro de este intervalo. El tercer y último depósito de ceniza es de 6 cm. y se distinguen macrorestos de ramas de árboles incluidas en el estrato. En discordancia erosiva sobre este último estrato se depositó un limo con tendencia a la estratificación con presencia de lentes de ceniza. Coronando la sucesión sedimentaria se observa un suelo granular.

Profundidad (cm)	Descripción
3-10	Suelo Granular color café Oscuro.
10-17	Nivel de limo con lentes difuminados, semiestratificado, color ocre.
17-23	Ceniza volcánica fina color gris oscuro, masiva, poco compacta, homogénea. Presencias de grandes troncos de 9 cm de longitud, en contacto transicional.
23-33	Limo fino, masivo, café medio, con presencia de una reinyección de ceniza volcánica, clasto de carbón a los 23 cm, contacto transicional.

- 33-44 Nivel más granular y compacto, masivo granular más deleznable, color café grisáceo, contacto transicional.
- 44-44.5 Nivel muy orgánico, contacto brusco arcilloso.
- 44.5-46.5 Nivel arcilloso, café claro. Le sobreyace en contacto brusco.
- 46.5-47 Limo muy fino, color café ocre, contacto brusco.
- 47-48 Nivel limoso granular, gránulos de 2 mm de diámetro, rico en materia orgánica.
- 48-52 Ceniza volcánica muy fina que se acuña en el estrato, presencia de un lente de materia orgánica de 13 mm por 45 mm de espesor.
- 52-55 Nivel orgánico, limo-arcilloso, contacto brusco.
- 55-75.5 Estrato masivo limo-arcilloso, con clastos rojos de 1 a 2 mm de espesor, contacto transicional.
- 75.5-84.5 Limo muy fino arcilloso, color café medio oxidado, contacto transicional.
- 84.5-86 Ceniza volcánica color gris oscuro a cafésoso con manchones de clastos de ceniza pura muy fina (5mm), contacto brusco.
- 86-90.5 Limo medio, color café-ocre, en la cima se presentan clastos de ceniza volcánica blanca, contacto brusco
- 90.5-96 Limo fino homogéneo de textura fina granular con manchones en la base, con restos de raíces, contacto transicional.
- 96-96.5 Fragmentos con concreciones de pequeños clastos de cuarzo, óxidos y feldespatos oxidados.

### 8.2.2. Fechamiento.

Se obtuvo una fecha de 3410 +/- 30 años AP en la base del núcleo. Mediante AMS, esto quiere decir que cada 1 cm de sedimento equivaldría a 38 años aproximadamente, mientras que la tasa de sedimentación tendría un valor de 0.028 cm/año (Tabla 3 y figura 16).

Tabla 3. Fechamiento de la muestra del núcleo INIFAP.

Muestra	Profundidad	Edad radiocarbono	Calibración AP	Tasa de sedimentación (cm/año)
Tacaná	96	3410 +/- 30	3648	0.028

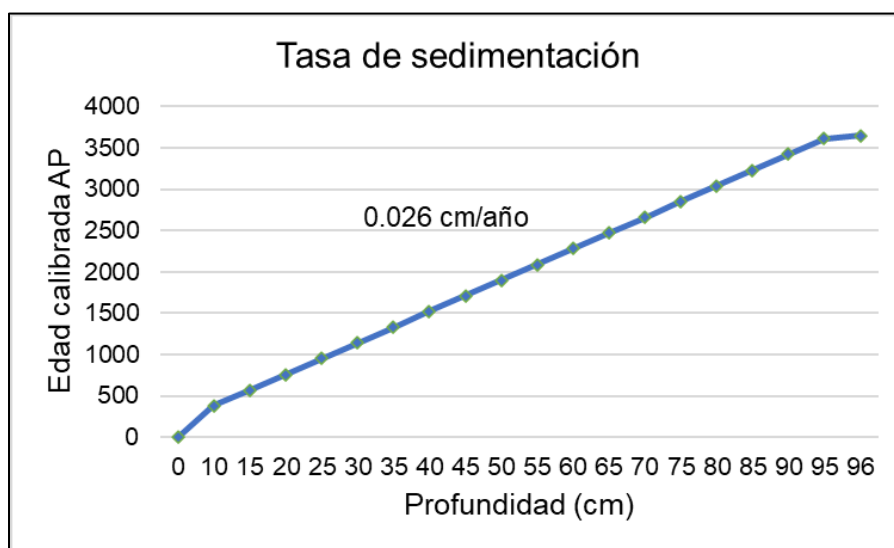


Figura 16. Curva de edad y tasa de sedimentación del núcleo INIFAP.

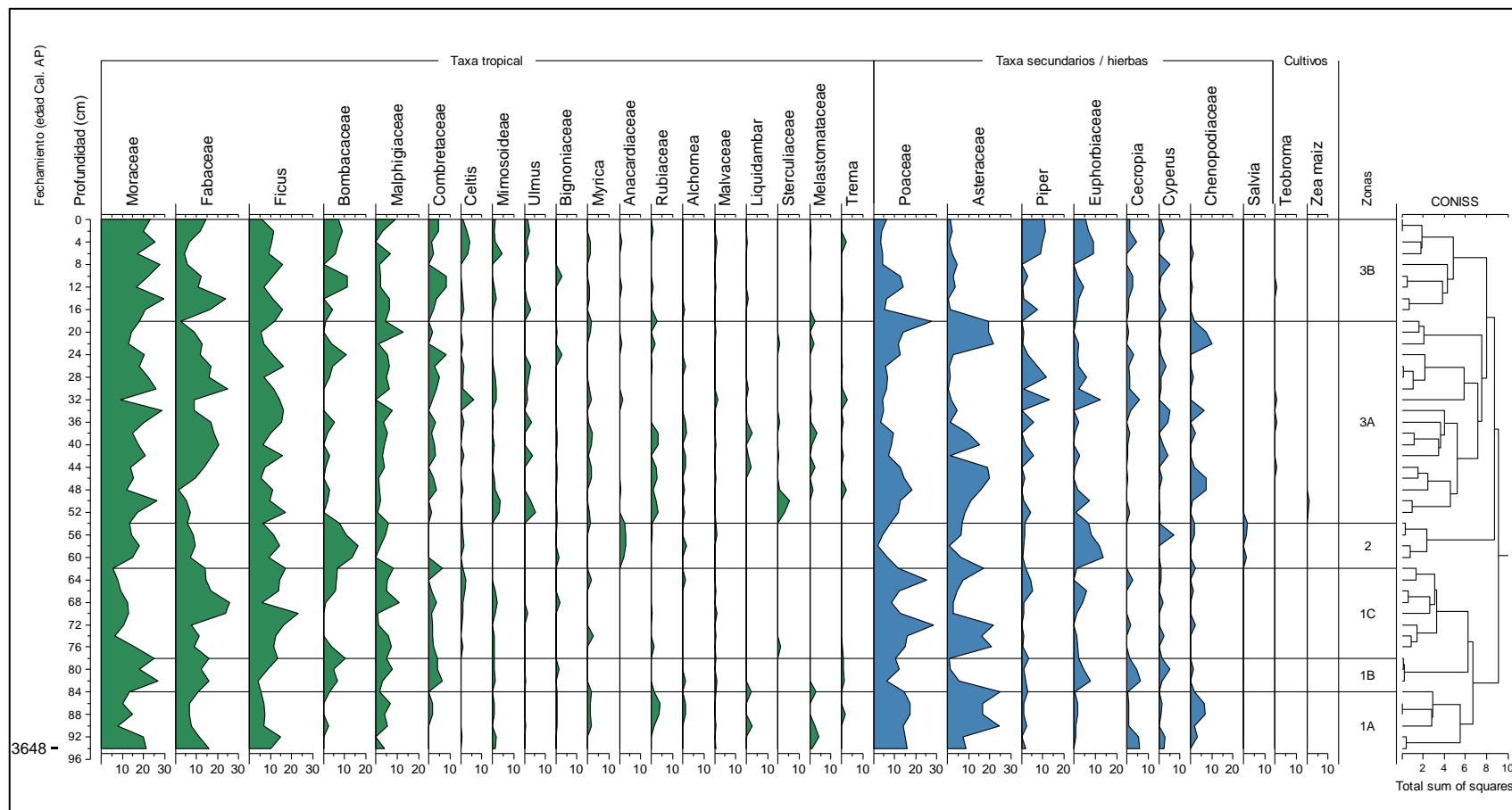


Figura 17. Diagrama de polen con los principales tipos polínicos identificados en la base del volcán (Rancho INIFAP).

### 8.2.3. Diagrama polínico.

Se obtuvo el diagrama polínico con la identificación de palinomorfos del núcleo recuperado en la base del volcán Tacaná en el cual se lograron identificar 51 tipos polínicos, de los cuales los taxa que tuvieron mayor presencia en el espectro fueron: Moraceae, Fabaceae, Poacea, *Ficus*, Asteraceae, Bombacaceae (figura 17).

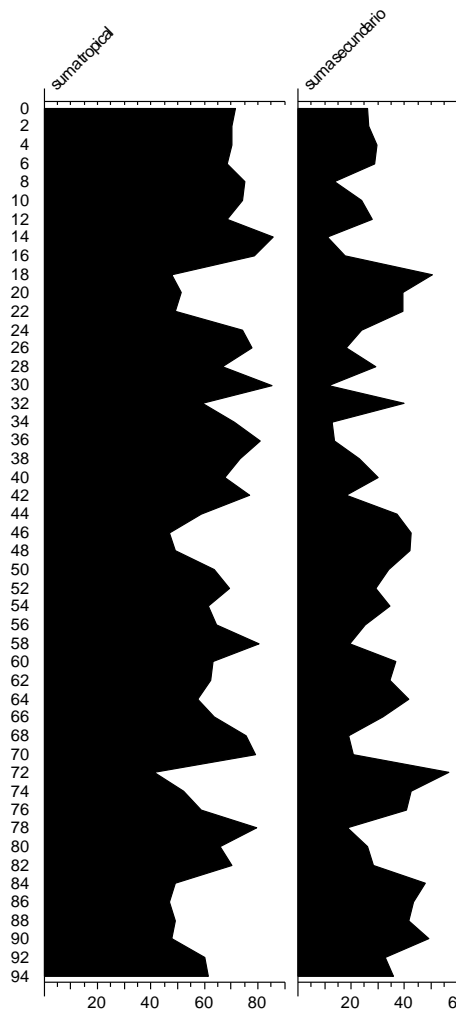


Figura 18. Porcentaje de los elementos templados, tropicales y hierbas del Núcleo Rancho INIFAP.

Se agruparon los tipos polínicos en, elementos tropicales, elementos secundarios o hierbas, de acuerdo con su afinidad ecológica, basado en el tipo de vegetación en que se encuentran, se puede observar que los elementos tropicales son los más abundantes a lo largo del núcleo, sin embargo la presencia de elementos secundarios tiene mucha importancia llegando a tener picos de estos elementos a los centímetros a los 90, 84, 72, 64, 60, 48, 46, 44, 32, 22 y 18, por otro lado, los elementos acuáticos tuvieron una muy baja presencia y los elementos templados muy baja o nula presencia en algunos centímetros (Figura 17 y 18).

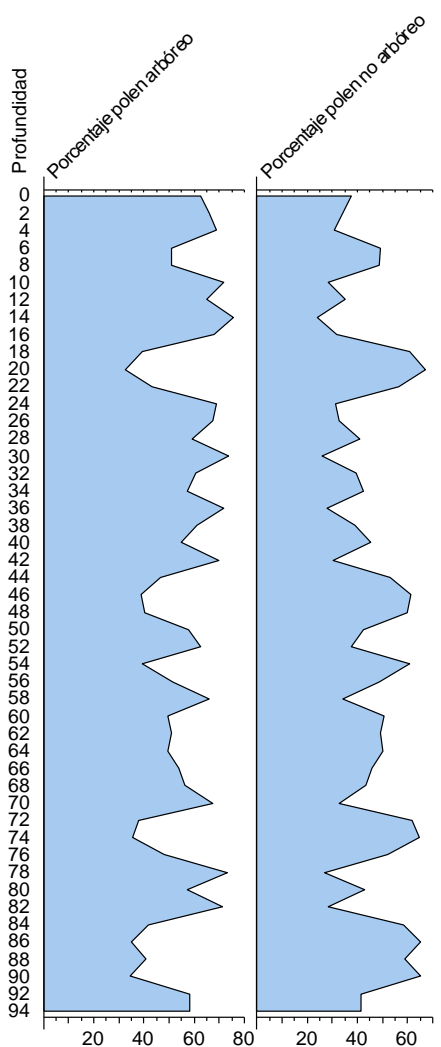


Figura 19. Porcentajes de Polen no arbóreo (PNA) y Polen arbóreo (PA) del Núcleo Rancho INIFAP.

Se obtuvieron los porcentajes de polen arbóreo y polen no arbóreo, en la cual se observa que los porcentajes de polen arbóreo, como Moraceae, Fabaceae, *Ficus*, Bombacaceae, Combretaceae y Anacardiaceae, son ligeramente superiores a los de polen no arbóreo en el cual se incluyen a Poaceae, Asteraceae, *Piper*, *Cecropia*, Euphorbiaceae y *Salvia*. Se observan picos importantes de polen no arbóreo a los centímetros 90, 88, 86, 74, 60, 54, 46, 20, 8 y 6. La presencia de estos nos indica la estructura de la vegetación al momento en que se deposita el polen (Figura 19).

El dendrograma (figura 17) dividió el registro polínico en 6 zonas: zona 1A (94 a 84 cm), zona 1B (84 a 78 cm), zona 1C (78 a 62 cm), zona 2 (62 a 54 cm), zona 3A (54 a 18 cm) y zona 3B (18 a 0 cm), las cuales se describen a continuación.

#### **zona 1A (94 a 84 cm).**

La base de la zona está dominado por los elementos tropicales Moraceae y Fabaceae con 20 % cada uno, así como *Ficus* con 10 % de representación, posteriormente los elementos secundarios o hierbas tienen un importante aumento de 92 a 84 cm, siendo Asteraceae el mejor representado con hasta 30 % y Poaceae con 20 %, Chenopodiaceae tiene un aumento en sus valores de hasta 10 % a los 86 cm, mientras que los elementos tropicales disminuyen, Moraceae, Fabaceae y *Ficus* con 10 %, Rubiaceae y Malphigiaceae tienen un aumento importante en los porcentajes de hasta 8%.

#### **zona 1B (84 a 78 cm).**

La zona se caracteriza por la disminución de los porcentajes de los elementos secundarios, y un aumento importante de elementos tropicales. Poaceae representa hasta 15 %, mientras que Asteraceae llega únicamente al 5 %, otras hierbas tienen una presencia importante como *Cecropia*, Euphorbiaceae y *Cyperus*, con hasta 10 %, por su parte Moraceae varía de 20 a 25 %, Fabaceae 20 %, *Ficus* llega a 15 % en la cima de la zona, Malphigiaceae 10 %, y Combretaceae con 5 %, son los más representativos de los elementos tropicales.

### **zona 1C (78 a 62 cm).**

La base de la zona se caracteriza por la disminución de los elementos tropicales y un aumento significativo de las hierbas, Moraceae, Fabaceae, *Ficus* y Malphigiaceae, con porcentajes máximos de 10 % cada uno, mientras que Asteraceae llega a 25 % y Poaceae 20 %; a la mitad de la zona de 72 a 68, los elementos de bosque tropical aumentan siendo Fabaceae con 30 %, *Ficus* 25 %, Moraceae 20 % y Malphigiaceae 10% los más importantes, por su parte las hierbas como Poaceae y Asteraceae disminuyen con respecto a la base de esta zona, con 10 % y 5 % respectivamente; la cima de la zona esta dominada por los elementos asociados a disturbio, Poaceae 25 %, Euphorbiaceae 20 %, y Asteraceae 20 %, mientras que los elementos tropicales disminuyen, siendo Bombacaceae el mejor representado del grupo con 15 %, por su parte Moraceae, Fabaceae y *Ficus* presentan valores mínimos de hasta 5 a 15 %.

### **zona 2 (62 a 54 cm).**

La zona esta dominada por los elementos asociados a bosques tropicales, Moraceae (20 %), Bombacaceae (20 %), *Ficus* (20 %), Fabaceae (15 %) y Anacardiaceae (5 %), son los taxa mejor representados en el espectro polínico, por su parte los elementos secundarios están representados por Euphorbiaceae (15 %), Asteraceae (10 %) y Poaceae (10 %).

### **zona 3A (54 a 18 cm).**

La base de la zona de 52 a 36 cm, esta caracterizada por una dominancia de Poaceae (10 a 20 %), Asteraceae (5 a 25 %) y Chenopodiaceae (hasta 10 %), y son los elementos secundarios, sin embargo a los 42 cm, Fabaceae presenta un pico de 25 %, y otros elementos de bosques tropicales tienen un aporte bajo Moraceae y *Ficus* con porcentajes máximos de 15 %; de 36 a 26 cm, los taxa tropicales tienen una mayor dominancia, Moraceae (de 15 a 30%), Fabaceae (20 a 25 %) y *Ficus* (hasta 20 %), por su parte Poaceae y Asteraceae tienen una representación mínima, los elementos secundarios tienen una presencia importante con algunos picos de

hasta 10 % de *Piper*, *Cecropia* y Euphorbiaceae; la cima de la base, 26 a 16 cm, esta dominada por las hierbas y elementos secundarios como Asteraceae con 20 %, Poaceae 20 %, y Chenopodiaceae 15%, mientras que los elementos tropicales disminuyen de manera importante, Moraceae, Fabaceae y *Ficus* con porcentajes máximos de 15 %, Malphiaceae presenta un pico de 10 % a los 20 cm.

### **zona 3B (18 a 0 cm).**

La base se la zona de 16 a 12 cm, esta dominado por elementos con afinidad tropical como Moraceae 25 %, Fabaceae 25 %, *Ficus* 15 %, mientras que los elementos asociados a hierbas tienen representación baja, Poaceae y *Piper* hasta 10 %, y Asteraceae 5 %; de los 12 a los 6 cm los elementos tropicales siguen dominando el espectro, sin embargo los elementos secundarios tienen un ligero aumento en los porcentajes; la cima de la zona, está caracterizada por la dominancia de elementos asociados a disturbio siendo los más representados, *Piper* (15 %), Euphorbiaceae (15 %), Poaceae (10 %), Asteraceae (5 %) y *Cecropia* (5 %), por otro lado los elementos tropicales, disminuyen, Moraceae (20 %), Fabaceae (10 %) y *Ficus* (10 %).

### **8.2.4. Productividad polínica.**

La productividad polínica graficada en la figura 20, muestra que todas las muestras tuvieron una productividad muy alta, sin embargo, de los 94 a 52 cm de profundidad la productividad disminuye levemente, siendo las muestras 92, 88 y 90 con valores de 31,000, 41,000 y 44,000 granos de polen de productividad respectivamente y de 36 a la cima se presentan los valores máximos; a los 2 cm 187,000, a los 34 cm 129,000 y a los 26 cm 123,000 granos de polen.



Figura 20. Productividad polínica del Núcleo Rancho INIFAP.

### 8.3. Fichas de polen.

Se muestran fichas con las imágenes de los taxa más representativos, identificados tanto en el núcleo cráter (figura 21), como en el núcleo INIFAP (Figura 22, 23 y 24).

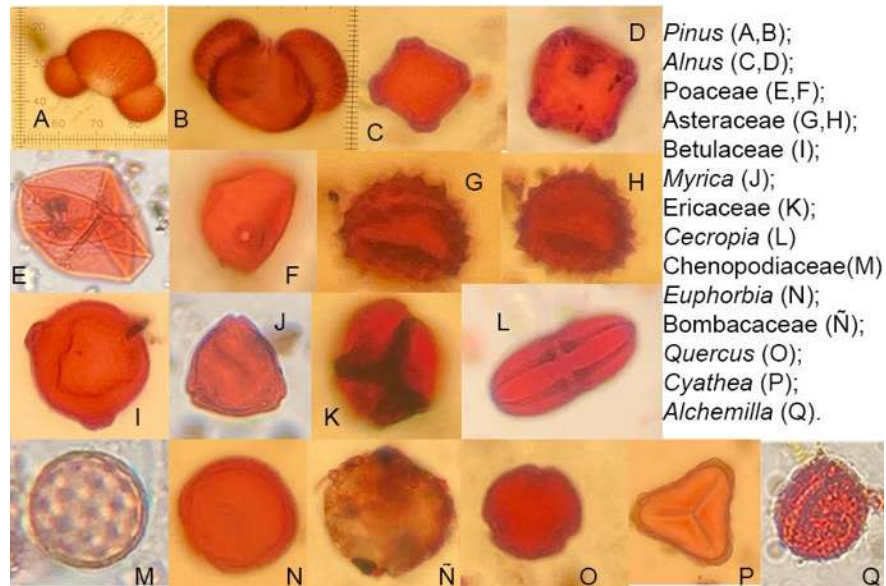


Figura 21. Ficha 1, granos de polen identificados en el núcleo cráter.

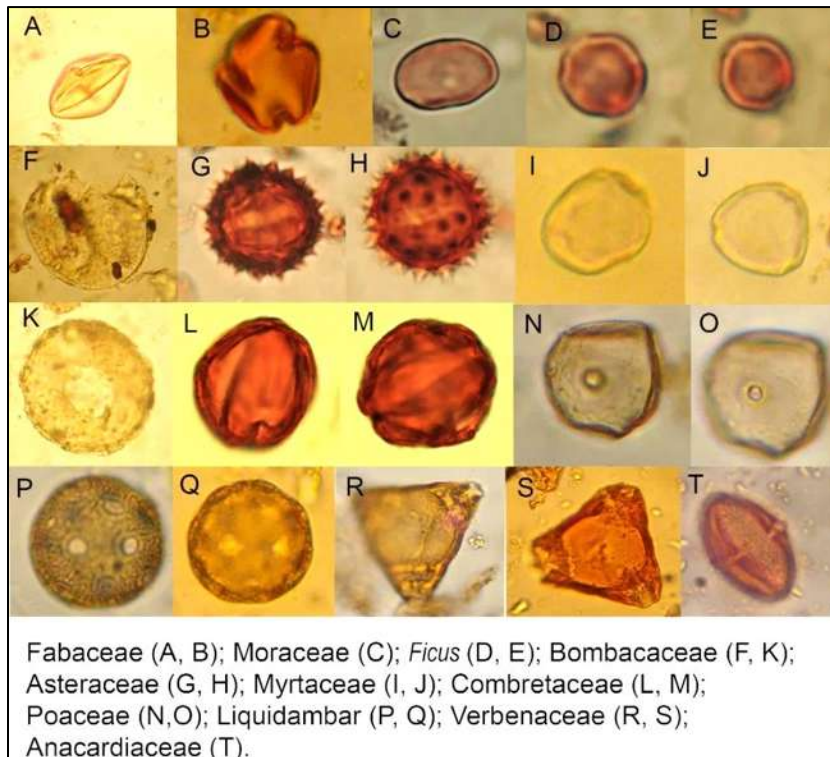


Figura 22. Ficha 2, granos de polen identificados en el núcleo INIFAP.

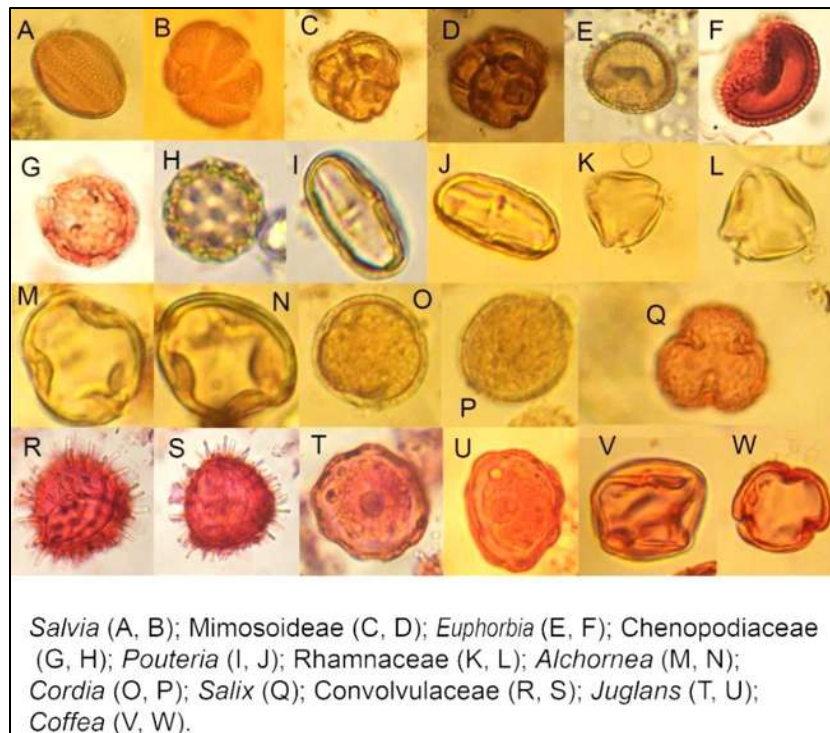


Figura 23. Ficha 3, granos de polen identificados en el núcleo INIFAP.

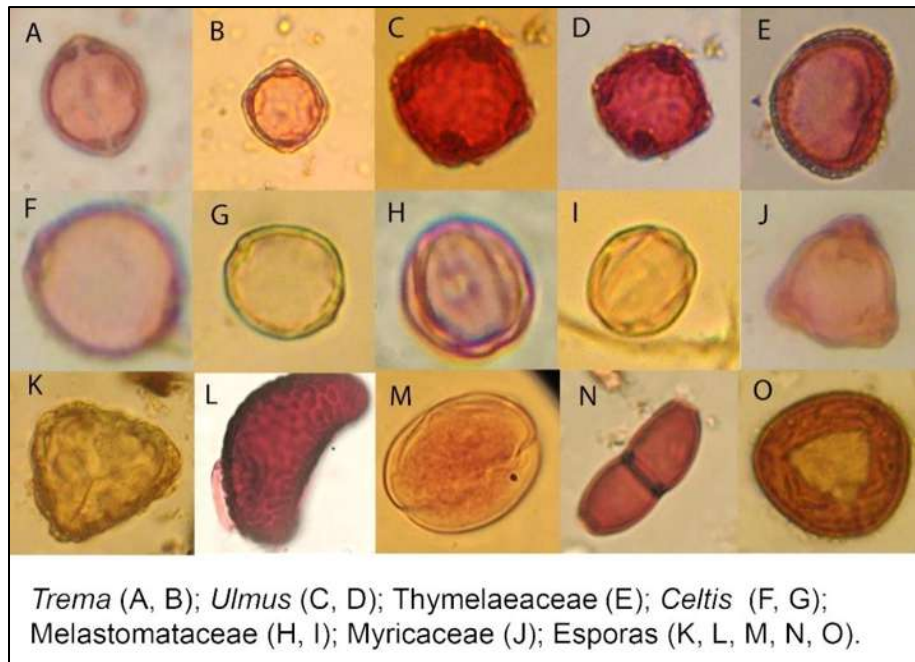


Figura 24. Ficha 4, palinormorfos identificados en el núcleo INIFAP.

## 9. Discusión.

Este es el primer estudio de reconstrucción paleoecológica realizado en la región del Soconusco en el Estado de Chiapas, asimismo el primer estudio de este tipo realizado en el volcán Tacaná; al ser considerado un volcán activo, los peligros asociados a eventos volcánicos ya sea de pequeñas o grandes magnitudes son significativos, ya que en las regiones próximas al edificio habitan más de medio millón de personas, y hay un constante aumento de población; este estudio representa un antecedente para conocer los efectos de la actividad volcánica sobre la región.

Los sitios de estudio se encuentran influenciados por la actividad del volcán Tacaná; emisiones de cenizas volcánicas pueden dañar la cubierta vegetal de una amplia área en el entorno de un volcán, y la ceniza volcánica puede dañar el registro polínico, sin embargo, no se elimina por completo (Almeida-Lenero, 2004; Nooren *et al.* 2009). De las muestras analizadas en el núcleo cráter, se encontró que de 95 a 28 cm se presentan cenizas volcánicas, mientras que, en el núcleo de las tierras bajas, la estratigrafía del núcleo obtenido en la base del volcán muestra 3 capas de ceniza volcánica, de 18 a 22 cm; de 48 a 52 cm; y de 84.5 a 86 cm, las fechas aproximadas a las que ocurrieron estas caídas de ceniza son: 800, 1821, y 3128 años AP respectivamente.

### 9.1. Núcleo Cráter.

Las muestras identificadas de 95 a 54 cm están dominadas por Asteraceae, Poaceae y *Pinus*, por otro lado, de 54 a 2 cm *Pinus*, Poaceae, *Alnus*, *Quercus* y Asteraceae, son los más representativos. Otros estudios de reconstrucciones paleoecológicas en sitios de alta elevación han reportado los mismos taxa, con poca variabilidad en los porcentajes, La presencia de taxa como *Pinus*, *Alnus*, *Quercus*, se debe a que a 4000 msnm donde se recuperó el núcleo, se desarrollan bosques de *Pinus*, mientras que los altos porcentajes de Asteraceae y Poaceae nos indica

que el sitio está perturbado o se comenzó un proceso de sucesión vegetal (Lozano-García *et al.*, 2004; Lozano-García *et al.*, 2005; Hidalgo-Juárez, 2018).

Los porcentajes de polen arbóreo y no arbóreo se asocian a la estructura de la vegetación al momento en que el polen se deposita en el sustrato. El diagrama polínico muestra que, de 95 a 54 cm, existe una dominancia de polen de tipo no arbóreo; mientras que de los 54 a 2 cm, existe un mayor porcentaje de polen arbóreo. Estas diferencias en la proporción entre polen arbóreo y no arbóreo nos indica fuertes cambios en la estructura de la vegetación (Patzkowsky *et al.*, 2000), lo que nos revela que de la base del núcleo (95 cm) a los 54 cm, la vegetación está dominada por herbáceas, ocasionada por la actividad volcánica que ha destruido la cubierta arbórea. A partir de los 54 cm y hacia la cima se observa un proceso de sucesión, que ocasiona la recuperación de la vegetación y el desarrollo de un bosque de *Pinus* abierto, ya que los porcentajes de polen arbóreo (*Pinus*, *Alnus*, *Quercus*) son menores comparado con la lluvia de polen moderno de los bosques de *Pinus* (Hidalgo-Juárez, 2018). Los cambios observados en las proporciones de taxa templado y hierbas, permiten inferir que en la base del núcleo y por efecto de un evento volcánico, la vegetación desapareció ya sea por el propio evento eruptivo o por cambios en el clima relacionado a las emisiones de gases a la atmósfera que pudo bajar la temperatura y favorecer el establecimiento de un páramo de montaña, gradualmente la vegetación original se fue recuperando dando lugar un bosque de *Pinus* (Faegri e Iversen, 1989; Patzkowsky *et al.*, 2000; Lozano-García *et al.*, 2004; Lozano-García *et al.*, 2005; Hidalgo-Juárez, 2018).

De las muestras analizadas del núcleo del cráter se obtuvo una productividad polínica máxima de 225,000 granos de polen a los 68 cm y a los 26 cm una producción de 123,080 granos de polen; de los 95 a los 32 cm de profundidad la productividad es baja, siendo las muestras 88 y 92 las que presentan menor productividad, 570 y 622 palinomorfos respectivamente. El descenso de la productividad polínica se debe a que el sustrato donde se depositó el polen es ceniza volcánica, aunque se demostró que el polen se preserva en ese medio, existe pérdida importante de los mismos, como se observó en el caso del volcán Chichonal

en Chiapas, donde la deposición polínica se redujo en los estratos donde se presentaban cenizas volcánicas (Nooren *et al.* 2009).

A partir de los 94 cm del núcleo se presenta un flujo de cenizas que llega hasta los 40 cm de profundidad. Macias y Arce (2019), reportan actividad volcánica de flujos de bloques y cenizas, hace 1950 +/- 50 años AP Se obtuvo una fecha de 1520 +/- 30 años A.P, a los 40 cm de profundidad lo que sugiere que las cenizas encontradas en la base del núcleo podrían ser producto de este evento eruptivo, que terminó con la vegetación arbórea y ocasionando un proceso de sucesión vegetal en el cráter del volcán, es por ello que el grupo de las hierbas y elementos secundarios tienen una presencia mayor a partir de los 54 cm de profundidad y posteriormente la vegetación se fue recuperando hasta el establecimiento de bosques de pino.

## **9.2. Núcleo tierras bajas (rancho INIFAP).**

El sitio donde se obtuvo el núcleo en la base del volcán se encuentra en una zona de inundación pluvial, dominada por un bosque tropical perennifolio (Martínez-Camilo *et al.*, 2017). El espectro polínico estuvo dominado por elementos tropicales, Moraceae, Fabaceae, *Ficus*, Bombacaceae, y por elementos secundarios como: Poaceae y Asteraceae. Hidalgo-Juárez (2018), analizó la lluvia de polen de los bosques tropicales del volcán Tacaná y encontró un espectro polínico similar. Sin embargo, hay algunos picos de hierbas y elementos secundarios o de polen de origen no arbóreo que coinciden con las tres capas de ceniza volcánica, lo que nos indica que al momento en que la ceniza se depositó en el sitio tuvo consecuencias en la dinámica vegetacional, ocasionando la dominancia de elementos secundarios o hierbas, Almeida-Lenero (2004) y Nooren *et al.* (2009), obtuvieron estratos de ceniza volcánica en los núcleos que analizaron, los cuales concluyeron que cuando existe caída de este producto, genera un impacto en la composición vegetal, modificando los tipos de vegetación presentes y esto se ve reflejado en el espectro polínico.

La costa del Pacífico de Guatemala y el sur de Chiapas que incluye la región del Soconusco, fueron los primeros pueblos asentados en la región Maya hace poco menos de 7,500 años, y hasta la actualidad ha sido habitada, ya que la región ha sido muy rica en recursos naturales (Voorhies, 2000; Neef, *et al.* 2002), por lo que, los picos de vegetación secundaria y hierbas, puede explicarse como influencias antrópicas que han afectado la vegetación. Aunque el registro de polen de *Zea mayz* y *Teobroma cacao* es muy pobre debido a la baja dispersión del polen; los elementos secundarios asociados a los períodos de cultivo pueden ser asociados a actividades agrícolas e influencia humana en la región (Domínguez-Vázquez e Islebe, 2008).

La zona arqueológica de Izapa se encuentra en las zonas colindantes con el edificio volcánico. La zona se estableció hace 3,000 años, y se convirtió en el centro cultural y político de la región del Soconusco, el cual fue el único que contaba con templos, altares y monumentos, esta zona estuvo habitada hasta hace 800 años (Lowe, *et al.*, 1982; Macias, 2000; Neef, *et al.* 2002).

De acuerdo con Lowe, *et al.* (1982), Izapa se establece en una zona optima geográficamente, entre el complejo volcánico Tacaná y la costa del pacifico, con un clima con condiciones únicas, para la producción de cacao que fue la principal actividad económica, sin embargo, la misma ubicación geográfica, hace que la zona sea altamente vulnerable tanto a la actividad volcánica, como a huracanes e inundaciones. La erupción volcánica registrada para 1950 años BP, provocó que los pobladores abandonaran la zona, se detuvo la construcción de templos y monumentos, ya que esta actividad provoco caída de ceniza la cual pudo llegar al centro ceremonial. Por otra parte, los flujos piroclásticos provocaron un bloqueo en el drenaje del área, lo cual provocó inundaciones, que destruyeron las plantaciones y afectaron las viviendas. Los pobladores abandonaron la zona, la mayoría hacia Centroamérica, y tomo varios años para que Izapa volviera a poblarse (Lowe, *et al.*, 1982; Voorhies, 2000; Macias, 2000).

De acuerdo con los resultados obtenidos de 52 a 48 cm se registró una caída de ceniza en el núcleo INIFAP que coincide con la erupción del Tacaná hace 1950

años AP, el cual ocasionó el abandono de la zona arqueológica de Izapa, localizada en la base del volcán Tacaná, a 100 m.s.n.m. (Macias, *et al.* 2000). Esta erupción destruyó los bosques tropicales de la zona, por lo que el espectro polínico muestra un cambio de vegetación importante, de una vegetación arbolada a una vegetación dominada por taxa secundarios; Nooren *et al.* (2009), en su estudio paleoecológico en el volcán Chichonal, también relaciona algunos eventos eruptivos con el abandono de poblaciones Mayas cercanas al volcán.

### **9.3. Holoceno tardío en el sur y sureste de México.**

En el sur y sureste de México, que incluye la península de Yucatán y el estado de Chiapas, se han realizado diversos estudios paleoecológicos, Neff *et al.* (2005); Domínguez-Vázquez e Islebe (2008); Nooren *et al.* (2009); Torrescano-Valle e Islebe (2015); Franco-Gaviria (2018); Bocanegra-Ramírez *et al.* (2019) con el objetivo de documentar los cambios ambientales y en la vegetación con la finalidad de saber cuáles son los conductores de dichos cambios, utilizando principalmente la identificación de granos de polen; esta parte de México se caracteriza por presentar altas cantidades de precipitación anuales de hasta 4400 mm en algunos sitios, siendo las regiones más húmedas del territorio nacional, cuando cambia el régimen de precipitaciones la humedad en el ambiente disminuye, provocando cambios en la vegetación (CONAGUA, 2006; Torrescano-Valle e Islebe, 2015).

Las reconstrucciones paleoecológicas han documentado una alta variabilidad climática en el sur y sureste de México, alternando periodos de condiciones más húmedas con periodos secos, que se han registrado cronológicamente durante los siguientes intervalos; 3400-2500 AP, 2300-2100 AP, 1900-1700 AP, 1400-1300 AP, 730 AP Y 560 AP (Neff *et al.*, 2005; Domínguez-Vázquez e Islebe, 2008; Nooren *et al.*, 2009; Torrescano-Valle e Islebe, 2015; Franco-Gaviria, 2018; Islebe *et al.*, 2019); el ENSO, ITCZ y NAO, son los principales controladores de los cambios ecológicos durante el Holoceno tardío en el sur y sureste de México, ya que cuando estos

eventos ocurren, alteran principalmente el régimen de precipitación a lo cual la vegetación responde a diferentes escalas de tiempo (Islebe *et al.*, 2019).

En el núcleo analizado en las tierras bajas del Tacaná, se observan en la gráfica, intervalos, en los cuales el espectro polínico lo dominan especies de bosque tropical perennifolio, que es la vegetación original y que se caracteriza por desarrollarse en ambientes de alta precipitación y humedad (Miranda, 1952; Breedlove, 1981), con periodos donde el espectro polínico nos indica que la vegetación cambia de bosque tropical perennifolio a vegetación abierta y ambientes más secos, como Poaceae, Asteraceae, y otras hierbas, este comportamiento se ha registrado en otros estudios realizados en bosques tropicales en la península de Yucatán y Chiapas (Neff *et al.*, 2005; Domínguez-Vázquez e Islebe, 2008; Nooren *et al.*, 2009; Torrescano-Valle e Islebe, 2015; Franco-Gaviria, 2018); por lo que, comparado con estudios similares se puede decir que, en la zonas bajas del Tacaná, la vegetación responde ante los cambios ambientales a diferentes escalas de tiempo.

Por otra parte el espectro polínico del núcleo del cráter, muestra a partir de los 40 cm y hasta la cima, fluctuaciones entre taxas característicos de un bosque de *Pinus*, como, *Pinus*, *Alnus* y *Quercus* (Hidalgo-Juarez, 2018), que actualmente se encuentra en el sitio donde se recuperó el núcleo, con algunos aumentos de taxa como Poaceae y Asteraceae que son característicos de un páramo de montaña, que se desarrollan en ambientes más fríos y secos (Almeida-Lenero, 2004), por lo que se puede inferir, que los cambios en el régimen de precipitación, así como la disminución de la temperatura a altas elevaciones, han influenciado la dinámica de la vegetación, que responde ante los cambios climáticos, como se observó en el núcleo de las tierras bajas.

Es necesario obtener más fechamientos en el núcleo para conocer las edades precisas y tener un control adecuado de las fechas, a las cuales ocurren estos cambios en la vegetación y poder relacionarlo con eventos climáticos puntuales.

## 10. Conclusiones

Los taxa más representativos del núcleo cráter fueron: Asteraceae, *Pinus*, *Alnus*, Poaceae y *Quercus*.

Los elementos de mayor importancia en el espectro polínico del núcleo rancho INIFAP fueron: Moraceae, Fabaceae, *Ficus*, Asteraceae y Poaceae.

Se registró un evento volcánico importante que alteró la dinámica vegetacional en el cráter, el cual terminó con la vegetación original, ocasionando el establecimiento de un páramo de montaña antes de la recuperación del bosque de *Pinus*.

Se registraron tres capas de ceniza en el núcleo INIFAP, las cuales coinciden con la disminución del bosque tropical, por lo que los eventos volcánicos tuvieron un efecto negativo en la vegetación de las zonas bajas.

Se observaron constantes cambios en la vegetación del núcleo INIFAP, asociados a la actividad humana que ha persistido en las zonas bajas del volcán por más de 3,000 años, así como a cambios climáticos producidos por fenómenos naturales como son el ENSO.

Se concluyó que las variaciones en la vegetación en el cráter están provocadas por cambios climáticos asociados a fenómenos naturales.

## 11. Literatura citada

Almeida-Lenero, L., Hooghiemstra, H., Cleef, A.M., van Geel, B., 2004. **Holocene climatic and environmental change from pollen records of lakes Zempoala and Quila, central Mexican highlands.** Review of Palaeobotany and Palynology 136:63–92.

Birks, H. J. B., Birks, H. H., 1980. **Quaternary Palaeoecology.** University of Cambridge, The Blackburn Press.

Bocanegra-Ramírez, D. M., Hong-Chung, L., Domínguez-Vázquez, G., Israde-Alcántara, I., Bischof, J. L., 2019. **Holocene climate change and sea level oscillations in the pacific coast of Mexico.** Quaternary International 528:100-108.

Breedlove D.E. 1981. **Introduction to the Flora of Chiapas.** Part 1. California Academy of Science, San Francisco CA, USA 35 pp.

Brenner, M., Rosenmeier, M. F., Hodell, D. A., 2002. **Paleolimnology of the Maya lowlands.** Anc. Mesoam 13(01).

Caballero M., M., Macías J.L., Lozano-García, S., Urrutia Fucugauchi J., 2001. **Late Pleistocene-Holocene volcanic stratigraphy and palaeoenvironments of the Upper Lerma Basin, Mexico.** Special Publications of the International Association of Sedimentologists, 30: 247 – 261.

Cohen, K. M., Harper, D. A. T., Gibbard, P. L., Fan, J. X., 2013 actualizada. **The ICS International Chronostratigraphic Chart.** Episodes 36: 199-204.

CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2006. Órgano administrativo desconcentrado de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Domínguez-Vázquez, G., Islebe, G. A., 2008. **Protracted drought during the late Holocene in the Lacandon rain forest, México.** *Veget. Hist. Archaeobot.* 17:327–333.

Erdtman G., 1952. **Pollen Morphology and plant taxonomy. Angiosperms (An Introduction to palynology I).** Almqvist and Wiksell, Stockholm. 539 pp.

Faegri, K., J. Iversen., 1989. **Textbook of pollen analysis.** The Blackburn Press, 4a. Edition. Munksgaard, Copenhagen. 328 pp.

Franco-Gaviria, F., Correa-Metrío, A., Cordero-Oviedo, C., 2018. **Effects of late Holocene climate variability and anthropogenic stressors on the vegetation of the maya highlands.** *Quat. Sci. Rev.* 189:76-90.

García, E., 1964. **Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen: (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana).** Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 246 pp.

Grimm, E.C., 2011. **Tilia 1.7.16 software.** Illinois State Museum, Research and Collection Center, Springfield.

Gutiérrez-Ayala, L. V., Torrescano-Valle, N., Islebe, G. A., 2012. **Reconstrucción paleoambiental del Holoceno tardío de la reserva Los Petenes, Península de Yucatán, México.** *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 29:749-763.

Hammer, Ø., 2001. **PAST. PAleontological STatistics Version 3.19.** Natural History Museum. University of Oslo, Norway.

Hidalgo-Juárez, G., 2018. **Distribución de la lluvia de polen en el gradiente altitudinal del volcán Tacaná, Chiapas, México.** Tesis de Licenciatura. UMSNH, Morelia, Michoacán, México.

IHNE., 2000. **Estudio Técnico Justificativo para el establecimiento de la Zona Sujeta a Conservación Volcán Tacaná.** Gobierno del Estado de Chiapas. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. México.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)., 2015. **Anuario estadístico y geográfico de Chiapas.** 661pp.

Islebe, G. A., Carrillo-Bastos, A., Aragón-Moreno, A. A., Valdez-Hernández, M., Torrescano-Valle, N., Cabanillas-Terán, N., 2019. **Holocene Paleocology and Paleoclimatology of South and Southeastern Mexico: A Palynological and Geospatial Approach.** Springer International Publishing. The Holocene and Anthropocene Environmental History of Mexico: A Paleocological Approach on Mesoamérica. 195-207.

Jansonius, J., McGregor, D.C., 1996. **Palynology, principles and applications.** American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation.

Jackson, S. T., J. W. Williams., 2004. **Modern analogues in quaternary paleoecology: here today, gone yesterday, gone tomorrow?.** Annual Review of Earth and Planetary Sciences: 32: 495-537.

Jiménez-Haro A., 2015. **Aportación a los estudios de geología estructural en la zona del volcán Tacaná, Chiapas, México. Tesis Licenciatura (Ingeniero Geólogo).** Ciudad de México, Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, Unidad Ticomán. 107 pp.

Jordá-Pardo, J. F., 1995. **El Cuaternario: definición, límite inferior y divisions.** Zephyrus, XLVIII:53-74.

Köppen, W., 1936. **Das geographische System der Klimate.** En: Köppen, W. & R. Geider (Eds.). Handbuch der Klimatologie. Band I, Teil C. Gebrüder Bornträger. Berlin. 44 pp.

Lozano-García, M. S., Martínez-Hernández E., 1990. **Palinología de los Tuxtlas: especies arbóreas. Instituto de Biología.** Universidad Nacional Autónoma de México. Publicaciones Especiales No. 3. México D. F. 61 pp.

Lozano-García, S., Vázquez-Selem, L., 2004. **A high-elevation Holocene pollen record from Iztaccíhuatl volcano, central Mexico.** *Holocene* 15:329–338.

Lozano-García, S., Sosa-Najera, S., Sugiura, Y., Caballero, M., 2005. **23000 year of vegetation history of the Upper Lerma, a tropical highaltitude basin in Central Mexico.** *Quat. Res.* 64:70–82.

Lowe, G. W., Lee, T. A., Martínez-Espinoza, E., 1982. **Izapa: An introduction to the ruins and monuments.** Provo, Utah, Brigham Young University, Papers of the New World Archaeological Foundation, no. 31, 439 p.

Macías, J.L., Espíndola, J.M., García-Palomo, A., Scott, K.M., Hughes, S., Mora, y J.C., 2000, **Late Holocene Peléan style eruption at Tacaná Volcano, México–Guatemala: Past, present, and future hazards:** *Geological Society of America Bulletin*, 112 (8), 1234-1249.

Macías, J.L., 2005. **Geología e historia eruptiva de algunos de los grandes volcanes activos de México.** *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana Volumen Conmemorativo del Centenario Temas Selectos de la Geología Mexicana* p. 379-424.

Macías, J. L., Arce, J. L., García-Palomo, A., Mora, J. C., Layer, P. W., Espíndola, J. M., 2010 **Late-Pleistocene flank collapse triggered by dome growth at Tacaná Volcano, México-Guatemala, and its relationship to the regional stress regime.** *Bull. Volcanol.* 72:33–53

Macías, J. L., Arce, J. L., Layer, P. W., Saucedo, R., Mora, J. C., 2015. **Eruptive history of the Tacaná volcanic complex.** In Scholamacchia, T., Macías, J. L., (eds) *Active volcanoes of Chiapas (México), El Chichon and Tacaná, active volcanoes of the world.* Springer Verlag, Berlin, pp 115-138.

Macías, J.L., Arce J.L., 2019. **Volcanic Activity in Mexico During the Holocene**. In: Torrescano-Valle, N., et al. (eds.), the Holocene and Antropocene Environmental History of Mexico, Springer Nature Switzerland, pp 129-170.

Martin, A. C. Y Harvey, W. J., (2017). **The Global Pollen Project: a new tool for pollen identification and the dissemination of physical reference collections**. *Methods Ecol Evol*, 8: 892–897.

Martínez-Hernández, E., Cuadriello-Aguilar, J.I., Téllez-Valdez, O., Ramírez-Arriaga, E., Sosa-Nájera, M.S., Melchor-Sánchez, J.E.M., Medina-Camacho, M., Lozano-García, M.S., 1993. **Atlas de las plantas y el polen utilizados por las cinco especies principales de abejas productoras de miel en la región del Tacaná, Chiapas, México**. Instituto de Geología, Universidad Autónoma de México. México D.F. 105 pp.

Miranda, G. F., 1952. **La vegetación de Chiapas, vol. 1**, Gobierno del Estado de Chiapas, México. 264 pp.

Mora. J. C., Macías, J. L., García-Palomo, A., Arce, J. L., Espíndola, J. M., Manetti, P., Vaselli, O., Sánchez, M. J., 2004. **Petrology and geochemistry of the Tacaná Volcanic Complex, Mexico-Guatemala: Evidence for the last 40000 years of activity**. *Geofísica Internacional*. 43:331-359.

Neff, H., Arroyo B., Jones, J G., Pearsall, D. M., 2003. **¿Dónde están los asentamientos arcaicos en la Costa Sur de Guatemala?** En XVI Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala (editado por J.P. Laporte, B. Arroyo, H. Escobedo y H. Mejía), pp.820-830. Museo Nacional de Arqueología y Etnología, Guatemala.

Nooren, C.A.M., Hoek, W.Z., Tebbens, L.A., Del Pozzo, M., 2009. **Tephrochronological evidence for the late Holocene eruption history of El Chichón Volcán, México**. *Geofísica Internacional*, 48(1), 97-112.

Palacios-Chávez, R., Ludlow-Wiechers, B., Villanueva-Gutiérrez, R., 1991. **Flora palinológica de Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an, Quintana Roo, México.** Centro de Investigaciones de Quintana Roo. Quintana Roo, México.

Patzkowsky, M. E., Brenchley, P. J., Harper, D. A. T., 2000. **Palaeoecology: Ecosystems, Environments, and Evolution.** PALAIOS, 15(3):255.

Rodríguez-Gonzalez, A., Fernández-Turiel, J. L., 2015. **Las geoformas volcánicas y su modelado morfométrico con Sistemas de Información Geográfica (SIG).** Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, 2015 (23:1)

Rodríguez-Vázquez, E., 2010. **Impacto de las erupciones volcánicas del Tacaná durante el Preclásico.** En XXIII Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala, 2009 pp.658-664. Museo Nacional de Arqueología y Etnología, Guatemala (versión digital).

Roubik, D., Moreno, J. E., 1991. **Pollen and spores of Barro Colorado Island.** Monographs in Systematic Botany, 36:270.

Stockmarr, S., 1971. **Tablets with spores used in absolute pollen analysis.** Pollen et spores, 13: 612-615.

Tarbut, E.J. y Lutgens, F.K., 2000. **Ciencias de la tierra, una introducción a la geología física,** Madrid: Prentice Hall.

Terradas, J., 2001. **Ecología de la vegetación. De la ecofisiología de las plantas a la dinámica de comunidades de paisaje.** Primera edición. Omega, Barcelona. 703pp.

Torrescano-Valle, N., Islebe, G. A., 2015. **Holocene paleoecology, climate history and human influence in the southwestern Yucatan Peninsula.** Rev. Paleobot. Palinol. 217(0).

Useros-Fernandez, J. L., 2012. **El cambio climático: Sus causas y efectos medioambientales.** An Real Acad Med Cir Vall 2013; 50: 71-98.

Voorhies, B., 2000. **Informe final de las investigaciones en Cerro de las Conchas, Municipio de Huixtla, Chiapas**: reporte interno, submitted to the Instituto Nacional de Antropología e Historia, México.

Walker, G.P.L., (2000). **Basaltic volcanoes and volcanic systems**. En: Encyclopedia of volcanoes (Eds.: H. Sigurdsson, B.F. Houghton, S.R. McNutt, H. Rymer y J. Stix), Academic Press, 283-289 p.

Wanner, H., Beer, J., Bütikofer, J., Crowley, T. J., Cubasch, U., Flückiger, J., Widmann, M. 2008. **Mid- to Late Holocene climate change: an overview**. Quaternary Science Reviews. 27(19-20), 1791–1828.

Zervas, D., Nichols, G. J., Hall, R., Smyth, H. R., Lüthje, C., Murtagh, F., 2009. **"SedLog: a shareware program for drawing graphic logs and log data manipulation"**. Computers & Geosciences, 35, 2151-2159.