



Comparación sedimentológica de tres sitios en la llanura costera chiapaneca: posibles evidencias de eventos catastróficos

Sedimentological comparison of three sites in the Chiapas coastal plain: Possible evidence of catastrophic events

Diana Cinthia Soria Caballero^{1*}, Gabriela Domínguez Vázquez¹, Dulce M. Bocanegra Ramírez²

¹ Laboratorio de Palinología y Cambio Climático. Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

² Laboratorio de Paleoambientes, Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Historial

Manuscrito recibido: 22 de febrero de 2024

Manuscrito aceptado: 22 de agosto de 2024

Manuscrito publicado: agosto 2024

*Autor para correspondencia

Diana Cinthia Soria Caballero

e-mail: dcinthiasoriac@gmail.com

Resumen

La región costera chiapaneca es un sitio con elevada biodiversidad cuya importancia humana y medioambiental es innegable. Históricamente, ha albergado asentamientos humanos muy importantes, pero también ha reflejado en sus depósitos sedimentarios todas las alteraciones asociadas a ellos, desde la contaminación local hasta el calentamiento climático regional y global. En esta región, en los municipios de Pijijiapan y Tuxtla Chico, se obtuvieron tres núcleos sedimentarios con longitudes menores a 1 m (45cm<95cm) usando un muestreador tipo Livingston, los cuales fueron analizados microscópicamente para determinar los componentes principales presentes en sus sedimentos. En Pijijiapan se obtuvieron los registros sedimentarios de los sitios San Isidro y Chocohuitl; en el Chocohuitl los sedimentos analizados sugieren un ambiente de transporte y depósito de alta energía, con aporte principalmente costero. En San Isidro el registro analizado sugiere una sedimentación condicionada por el transporte y depósito de material durante eventos catastróficos de inundación y desbordamiento de los ríos que descienden desde la Sierra Madre de Chiapas. Por otro lado, en Tuxtla Chico se obtuvo un registro sedimentario en el campo experimental Rosario Izapa, del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales (INIFAP); en este, los sedimentos analizados también sugieren un ambiente de transporte y depósito de material relacionado con desbordamiento de ríos e inundaciones, pero a diferencia de San Isidro, aquí se registra además la influencia de la actividad volcánica reciente del Complejo Volcánico Tacaná, el cual ha aportado al registro el depósito de capas de cenizas bien delimitadas y depósitos de lahares. Las inundaciones sugeridas por los registros sedimentarios se pueden relacionar con la ocurrencia frecuente de huracanes y tormentas tropicales en esta zona del país. Adicionalmente, se observó la presencia de valvas de pequeños crustáceos conocidos como ostrácodos conservados únicamente en los sedimentos del sitio INIFAP, con características de ensamble y preservación que sugiere sufrieron un proceso de tanatocenosis de alta energía al momento de ser depositados. Este trabajo representa un primer acercamiento para determinar la dominancia de la sedimentación costera *versus* la sedimentación asociada a desbordamiento de ríos e inundaciones en el pasado en la zona costera Chiapaneca.

Palabras clave: Costa del océano Pacífico de Chiapas, Volcán Tacaná, Sedimentos, Tanatocenosis, Inundaciones, Ostrácodos.

Abstract

The Chiapas' coastal region is a highly biodiverse area with undeniable environmental and human relevance. Historically, in the Pacific coast early human settlements have strongly influenced the region. The sedimentary deposits of the area recorded all the processes related to environmental changes, such as global warming, but also human-induced changes, such as deforestation and pollution. Cores of 45cm<95cm long, from three sites along the Pacific Ocean floodplain of Chiapas showed relevant factors affecting the dynamics of sedimentation. These were obtained from the localities of Pijijiapan and Tuxtla Chico and the components of the core sediments were microscopically analyzed. In Pijijiapan, sedimentary records were analyzed for the sites San Isidro and Chocohuitl. The Chocohuitl site recorded a high-energy sedimentary environment, influenced by coastal dynamics that caused poorly preserved remains of ostracods. The San Isidro site recorded sedimentary environments influenced by transportation and deposition of materials related to catastrophic events, such as flooding and river overflows from the drainage of the Sierra Madre de Chiapas. Meanwhile, in Tuxtla Chico a core was obtained in the Rosario Izapa experimental campus, INIFAP. This core also recorded a sedimentary environment influenced by flooding and river overflows, but unlike San Isidro, here the influence of deposits from Tacaná volcano are observed, such as well-defined 10 cm-thick ash layers and lahar deposits. The floods suggested by the sedimentary records have been related to the frequency of tropical storms and hurricanes that have affected Chiapas. Additionally, at the INIFAP site we observed the presence of ostracods valves, showing associations and preservation characteristics related to a high-energy thanatocoenosis deposit. This work is a first attempt to characterize the influence of coastal sedimentation *versus* flood-related sedimentation in the coastal plain of Chiapas.

Keywords: Chiapas Pacific ocean coastal, Tacaná volcano, Sediments, Flooding, Ostracods, Thanatocoenosis.

Introducción

Las regiones costeras son áreas de suma importancia a nivel mundial, por su enorme productividad biológica y las diversas actividades humanas que allí se concentran. No obstante, estas zonas son extremadamente frágiles, no solo por los cambios de uso de suelo, la extracción de sus recursos y la contaminación, sino también por los efectos del calentamiento global y los patrones generales de cambio climático (Herrera-Silveira *et al.*, 2004; Bouillon *et al.*, 2008; Gliman *et al.*, 2008; Donato *et al.*, 2011).

En la costa chiapaneca, las zonas de manglares y lagunas-estuarios representan sitios emblemáticos por su elevada biodiversidad y porque actúan como filtros naturales de contaminantes del agua, pero también por el papel que juegan en la protección de la costa contra huracanes, inundaciones y erosión (Flores-Verdugo, 2007; Alongi y De Carvalho, 2008; Walters *et al.*, 2008). Sin embargo, en los últimos cuarenta años la costa se ha visto afectada por el crecimiento poblacional y la deforestación de la Sierra Madre de Chiapas, estando expuesta a inundaciones severas, deslizamientos de terreno y asentamientos diferenciales. Esto se ha reflejado en la sobrecarga de sedimentos que llevan los ríos y arroyos a la costa, incrementando el azolvamiento natural de lagunas, estuarios y deltas (Castillo Santiago *et al.*, 2003; Tovilla-Hernández, 2004).

Los procesos que incrementan el azolvamiento afectan directamente los registros sedimentarios de la zona costera, alterando las tasas de sedimentación, las partículas dominantes, los rangos granulométricos e inclusive, la conservación de microfósiles indicadores del cambio medioambiental tales como: polen, fitoplancton y zooplancton. El análisis de las alteraciones en los registros sedimentarios se ha convertido en una herramienta de suma importancia para identificar cambios abruptos en la deposición natural de los sedimentos, y cuyo origen puede ligarse a eventos específicos que modifican los ecosistemas, ya sea de manera abrupta o paulatina, por ejemplo, fenómenos climáticos catastróficos, los riesgos geológicos o bien el impacto humano. Este estudio representa un primer acercamiento para entender la dinámica de la zona costera chiapaneca

a partir de núcleos de sedimentos y determinar la influencia de los procesos naturales o inducidos preservados en el registro sedimentario.

Materiales y métodos

Área de estudio

El presente trabajo seleccionó varios sitios del litoral de la costa de Chiapas (**Figura 1**). Este litoral forma una planicie paralela al océano Pacífico, con una longitud de 310 km y un ancho variable de 19 a 47 km. En esta planicie desembocan los ríos que nacen en la Sierra Madre de Chiapas y forman áreas inundables que son hábitats muy importantes para la flora y fauna de la región (Tovilla-Hernández, 2005).

Los núcleos analizados se tomaron uno en el municipio de Tuxtla Chico, ubicado en la base del Volcán Tacaná y dos en el municipio de Pijijiapan, en la planicie costera pacífica del estado de Chiapas. En Tuxtla Chico, el sitio de muestreo se localizó en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales (INIFAP) campo experimental Rosario Izapa (14°58'31.47" N, 92°09'03.90" O, a 500 m.s.n.m.); este sitio se encuentra dentro de la llanura de inundación del río Mixcum–Suchiate y aquí afloran materiales provenientes de las erupciones del volcán Tacaná (Hidalgo-Juárez, 2021; Domínguez-Vázquez *et al.*, 2023). En Pijijiapan, el primer sitio de muestreo se localizó en el manglar de *Conocarpus* ubicado en la Ranchería Chocohuitl (15°35'02.60" N, 93°19'05.83" O, a 0 m.s.n.m.), el cual es afectado en su dinámica por el Océano Pacífico. El segundo punto de muestreo se localizó en San Isidro Pijijiapan (15°42'41.95" N, 93°22'25.28" O, a 10 m.s.n.m.), en la planicie de inundación del Océano Pacífico, a 18 km al norte del sitio Chocohuitl. A pesar de ser centros turísticos muy poblados de Pijijiapan, ninguno de estos sitios se encuentra en alguna categoría de conservación.

Los tres sitios analizados se encuentran dentro de la provincia fisiográfica Cordillera Centroamericana, en los sistemas terrestres de Llanura costera y Llanura costera con lomerío, la cual abarca 23 640 km² y es una zona de alto valor comercial debido a las actividades agropecuarias que

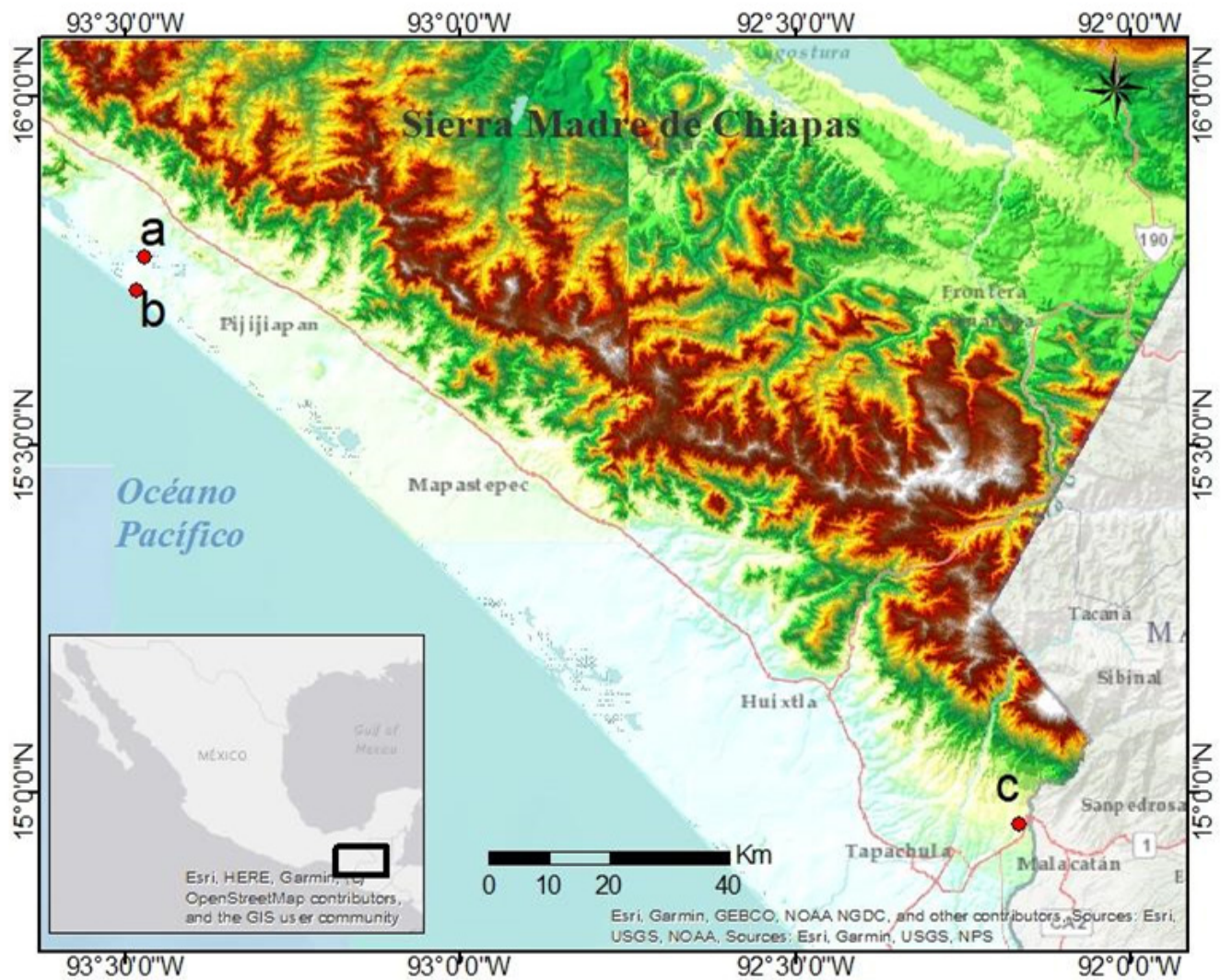


Figura 1. Localización geográfica de los sitios de estudio. **a)** San Isidro Pijijiapan. **b)** Manglar del Chocohuitl. **c)** INIFAP Campo Experimental Rosario Izapa, Tuxtla Chico, en el estado de Chiapas, México.

ahí se realizan. Están influenciadas por regímenes climáticos cálidos – húmedos (Aw y Am) con temperaturas medias anuales entre $35^{\circ}\text{C} > 30^{\circ}\text{C}$. Esta zona sostiene vegetación caracterizada por sabanas de inundación, selvas inundables de Canaoite (*Bravaisia integrerrima*), selvas altas perennifolias, pequeñas áreas de selva baja caducifolia, así como agricultura de temporal, que crecen sobre suelos tipo acrisol, cambisol, regosol y solonchak (García *et al.*, 2003, López *et al.*, 2003). La geología regional incluye depósitos lacustres y aluviales cuaternarios en la zona de planicie, lutitas, areniscas y calizas cuaternarias en la zona de costa. Hacia la Sierra, se encuentran rocas ígneas intrusivas y metamórficas, tales como granitos, granodioritas, tonalitas,

granitoides, ortogneiss y esquistos cristalinos con edades que van desde el Precámbrico hasta el Paleozoico, pertenecientes al Grupo las Ovejas, cubiertos por secuencias mesozoicas sedimentarias pertenecientes a las formaciones Todos Santos, Mogoñé, San Ricardo, Chinameca, Grupo Sierra Madre, Ocozocoautla, Juan Crispin y Méndez. En la zona del Tacaná se encuentran los depósitos volcánicos de tendencia intermedia y composición calco-alcalina, predominando las lavas dacíticas, andesíticas y andesítica-basálticas, así como presencia de depósitos aluviales y suelos residuales (Vazquez *et al.*, 2022; INEGI, 2010; García-Palomo *et al.*, 2006; Ortega-Gutierrez *et al.*, 1992).

De acuerdo con el Programa Estatal de

Ordenamiento Territorial de Chiapas, los sitios aquí analizados se localizan en las unidades morfopedológicas denominadas 1) Superficie de acumulación litoral, playas y cordones litorales, y 2) superficie costera de inundación. Ambos son ambientes estables con sedimentación continua afectada por la transición continente-océano, en donde se depositan principalmente terrígenos de granulometría variable (arcillas, arenas, gravas) y edad Cuaternaria; estos sedimentos provienen tanto de origen marino (depositados durante los eventos de transgresión), como continental (depositados por escurrimientos de las zonas más elevadas durante la época de lluvias) y pueden contener horizontes con altos contenidos de sales (Castillo Santiago *et al.*, 2003).

Extracción y procesamiento de núcleos

Los núcleos fueron extraídos con un muestreador tipo Livingston, usando un tubo de PVC hidráulico de doble pared de 100 cm de largo por 10 cm de diámetro. En el sitio INIFAP se extrajo un núcleo de 91 cm de longitud total; en el Chocohuital el núcleo tuvo una longitud de 95 cm y en San Isidro Pijijiapan tuvo una longitud de 40 cm (**Figura 2**). La resistencia del terreno a la perforación manual en San Isidro Pijijiapan causó que se obtuviera

el núcleo más corto de los sitios analizados. Los núcleos extraídos fueron sellados en campo para evitar su contaminación y fueron trasladados al Laboratorio de Palinología y Cambio Climático, de la Facultad de Biología en la UMSNH para su análisis.

En el laboratorio, los núcleos fueron cortados a lo largo por la mitad, conservándose una mitad como testigo y la otra fue utilizada para los análisis. Se describió la estratigrafía general antes de tomar las muestras del núcleo. Se muestrearon los núcleos en intervalos de 5 cm o al notar cambios relevantes en la sedimentación. Las muestras fueron descritas microscópicamente, colocándolas en cajas de Petri bajo un microscopio estereoscópico con un aditamento de lámpara micropaleontológica para mejorar la iluminación de la muestra. Los diferentes componentes presentes en los sedimentos como: cristales sueltos de minerales, fragmentos de líticos, fragmentos de vidrio volcánico, restos de materia orgánica, agregados de carbonatos y porcentaje de arcillas, se analizaron mediante conteos en un mínimo de cinco campos de visión y un máximo de ocho, con un aumento de 20x para cada muestra, utilizando un microscopio estereoscópico y las cartas de estimación visual de porcentajes de componentes modificadas a partir de las empleadas

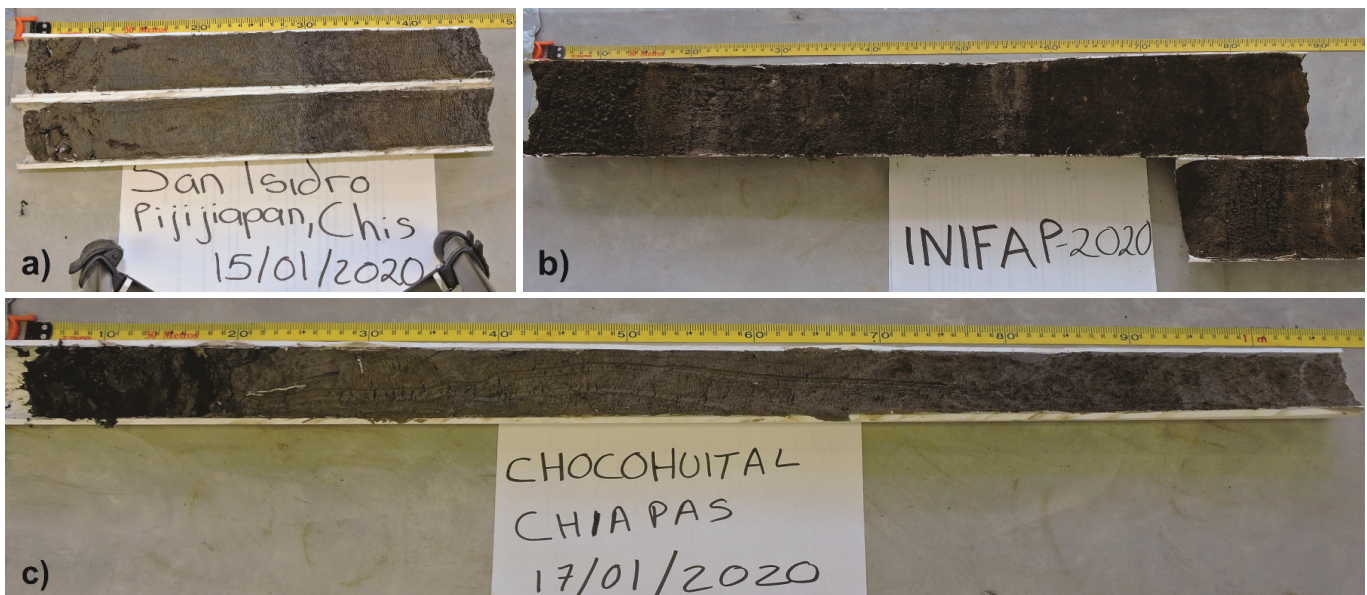


Figura 2. Fotografías de los núcleos tomados en la zona costera del Océano Pacífico de Chiapas con escala centimétrica adjunta. a) núcleo del sitio San Isidro (40 cm de largo), b) núcleo del sitio INIFAP (95 cm de largo) y c) núcleo del sitio Chocohuital (91 cm de largo).

en petrografía sedimentaria. Los conteos obtenidos para cada componente en cada campo de visión de cada muestra fueron promediados y presentados en gráficas de porcentajes.

Análisis micropaleontológico

En algunas de las muestras se observaron como parte de sus componentes la presencia de valvas de ostrácodos, por lo cual se tomó una porción de cada muestra para prepararla para un análisis micropaleontológico que permitiera separar y limpiar los ostrácodos del resto del sedimento. Para este análisis se tamizaron los sedimentos de cada muestra en húmedo utilizando mallas de apertura No. 60 y 150, recuperando los restos atrapados en cada malla y sometidos posteriormente a un lavado. Para ello, el sedimento tamizado se mezcló con 250 ml de agua destilada, 0.5 g de bicarbonato de sodio y 2.5 ml de detergente con pH neutro (Extran). Los sedimentos se mantuvieron tapados en esta solución durante 5 días, agitando suavemente la mezcla tres veces al día, con el objetivo de desprender sedimentos adheridos a las valvas. Posteriormente, los sedimentos se enjuagaron con agua destilada, dándoles un enjuague final con alcohol etílico desnaturalizado, reteniéndolos en filtros Whatman. Los sedimentos retenidos en los filtros se dejaron secar a temperatura ambiente. Una vez secos, las valvas de ostrácodos se separaron manualmente usando un microscopio estereoscópico con aumento de 40x, una aguja de acupuntura y un pincel fino (No. 0, marca Kolinski); los ejemplares separados se colocaron en viales de plástico hasta su montaje final en laminillas micropaleontológicas Plummer con goma de tragacanto. Los ejemplares fueron descritos, medidos e identificados usando las claves de Delorme (1970 y 1971), Griffiths *et al.* (1993), Horne *et al.* (2002) y Meisch (2000).

Resultados

Sitio INIFAP campus experimental Rosario Izapa

Los sedimentos del núcleo INIFAP muestran componentes finos por la sedimentación de la llanura de inundación mezclados con otros

derivados de la erosión de los depósitos volcánicos del volcán Tacaná (**Figura 3**). La base del núcleo se ubicó a 91 cm de profundidad y mostró una asociación mineralógica dominada por cristales de anfíboles y cuarzo (30%), con un 50% de arcilla y menos del 15% de cristales de olivinos y piroxenos, el 5% restante corresponde a fragmentos líticos y vidrio volcánico; no se registró presencia de materia orgánica. La madurez textural de estos sedimentos basales fue mayor que la del resto del núcleo, a excepción de los 10 cm superiores del mismo.

A 85 cm de profundidad se encontró un nivel de ceniza volcánica descrito en la estratigrafía con una edad de 3,128 años AP, mostrando una asociación principal de cristales de olivino y piroxenos (<65%), seguidos en menor medida por agregados de anfíboles y plagioclasas (<15%). Esta asociación se mantuvo hasta los 70 cm de profundidad, variando únicamente en los contenidos de arcilla que pasan de ser menor al 5% a mayor al 15%, y en las proporciones de anfíboles que aumentan a 25%. Ambas muestras presentaron una cantidad moderada de vidrio volcánico (<15%) y nula materia orgánica. En estas capas sedimentarias se registraron hallazgos de caparazones de ostrácodos aislados del género *Limnocythere* (a 80 cm de profundidad) y el género *cf. Potamocypris* (a 75 cm de profundidad). Estos caparazones se observan muy erosionados y rotos en el área de la charnela, sugiriendo retrabajamiento asociado a un ambiente de depósito de alta energía.

A 65 cm de profundidad se observó un cambio en las asociaciones mineralógicas pues comenzaron a ser más abundantes los cristales de moscovita, asociados con piroxenos (45%), seguidos de olivinos, agregados de anfíboles y plagioclasas (25%). Se registró además la presencia de agregados de carbonatos (20%) y un bajo porcentaje de arcillas (10%); no se observó la presencia de líticos, vidrio volcánico ni materia orgánica. En los 10 cm sobreyacentes no se observaron moscovitas ni olivinos y la dominancia se alternó entre agregados de plagioclasas con piroxenos (35%) y anfíboles con piroxenos (35%), aunque la presencia de agregados de carbonatos (25%) y el porcentaje de arcilla (10%) se mantuvieron constantes; no se observaron líticos,

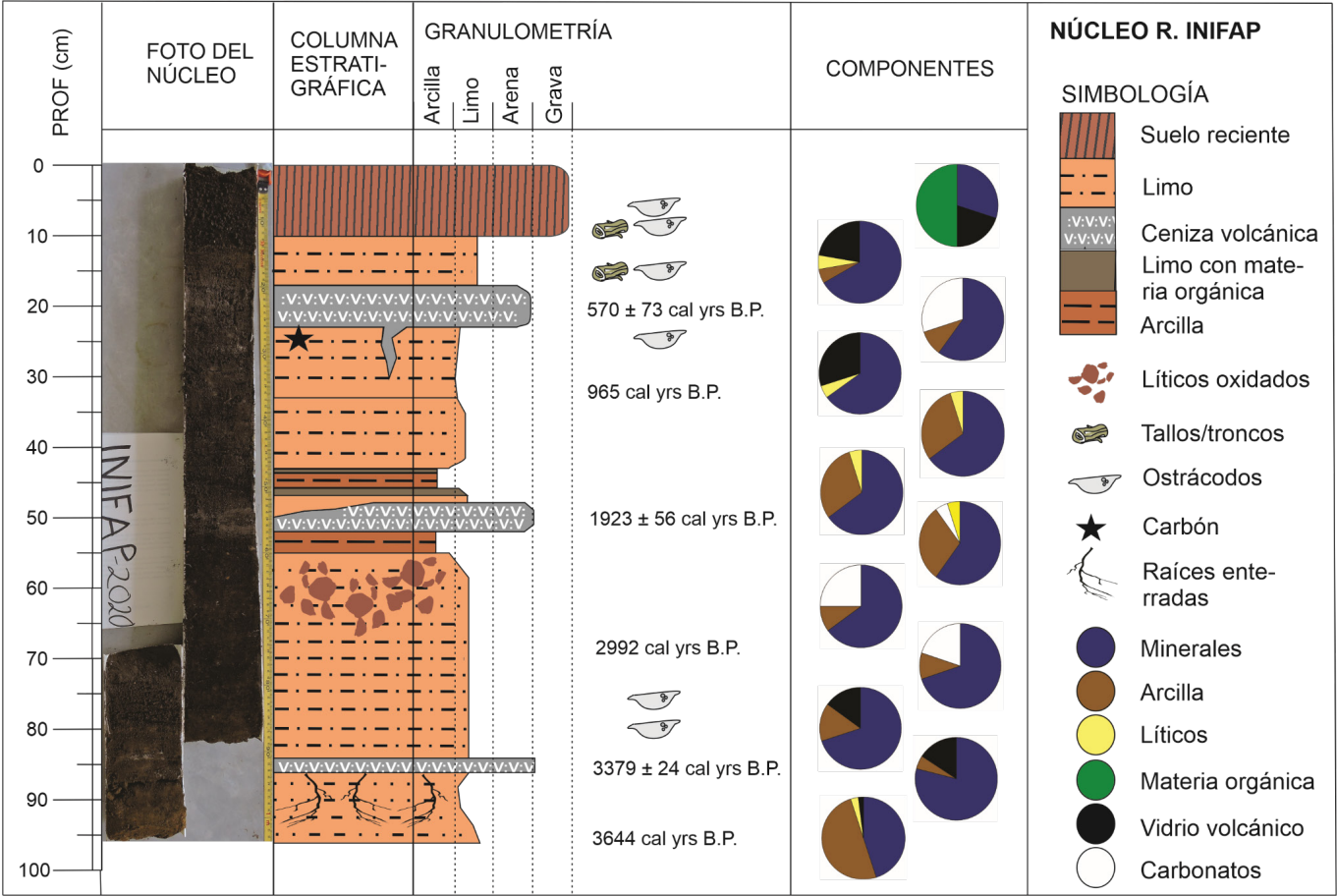


Figura 3. Registro sedimentario del sitio INIFAP, campus experimental Rosario Izapa, Tuxtla Chico, Chiapas. Fotografía del núcleo, interpretación estratigráfica, granulometría dominante y análisis de componentes para la secuencia.

vidrio volcánico ni materia orgánica. La presencia de agregados de carbonatos sugiere un ambiente más seco, que permitió su precipitación.

Las moscovitas vuelven a aparecer a los 50 cm de profundidad (20%) en asociación con agregados de anfíboles, pero se vuelven dominantes en los sedimentos a partir de los 45 cm de profundidad y hasta 15 cm de profundidad (35%). En estos estratos se asociaron principalmente con anfíboles y cuarzo (30-40%), se observaron porcentajes moderados de arcilla (~30%) hasta los 35 cm de profundidad, así como porcentajes muy bajos de líticos (<5%), sugiriendo condiciones ambientales más húmedas que permitieron mayor madurez textural en los sedimentos. De 35 a 25 cm de profundidad las moscovitas se asociaron con cristales de piroxenos y olivinos (35%), seguidos en proporción por agregados de plagioclasas, anfíboles (30%), fragmentos de vidrio volcánico (30%) y escasos

líticos (<5%), asociados a la ceniza volcánica reportada en la estratigrafía a los 1,821 años AP. Aquí se registró la presencia de caparazones completos, pero muy erosionados, de varios géneros de ostrácodos como *cf. Limnocythere*, *cf. Potamocypris*, y posiblemente otros de la familia *Bairdiidae*, cuyas características diagnósticas taxonómicas no se conservaron lo suficiente para asignarles un género definitivo (**Figura 4**).

Posteriormente, desde los 25 cm de profundidad y hasta los 15 cm de profundidad, los sedimentos se componen principalmente de cuarzo y agregados de plagioclasas (45%) y carbonatos (30%), seguidos en mucha menor proporción por agregados de anfíboles y moscovitas y con cristales aislados de piroxenos (15%), así como bajos contenidos de arcillas (10%), sugiriendo que las condiciones ambientales locales fueron de mayor sequedad, permitiendo la precipitación de carbonatos. A partir de los 15 cm

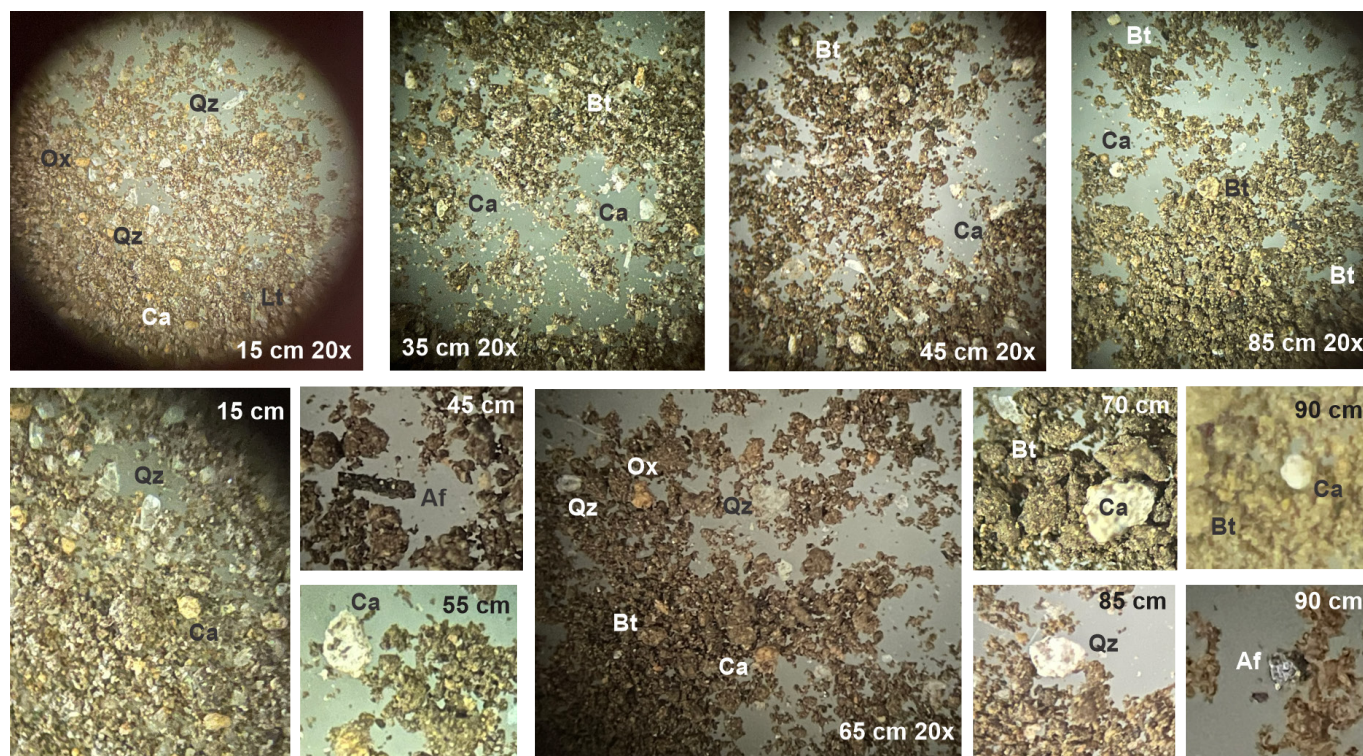


Figura 4. Imágenes de los componentes de los sedimentos analizados para el núcleo INIFAP campus experimental Rosario Izapa. Se observan los agregados de arcillas color café claro distribuidos en todas las muestras. Los centímetros indican la profundidad a la que fue obtenida la muestra, todas las observaciones se realizaron con aumentos 20x. Abreviaturas: Qz: Cuarzo, Ca: agregados de carbonatos, Ox: agregados oxidados, Bt: Biotitas, Af: Anfíbol, Lt: Líticos.

de profundidad y hasta 5 cm de profundidad domina la asociación de cuarzo y cristales de anfíboles (35%), con la presencia moderada de fragmentos de vidrio volcánico (20%), seguido de cristales de moscovita y piroxenos (25%) y escaso contenido de arcilla (5%). Finalmente, en los 5 cm superiores del núcleo, los sedimentos presentan gran contenido de materia orgánica (50%) y fragmentos vegetales de raíces y tallos, la asociación mineral refleja un nuevo aporte de ceniza volcánica pues vuelven a dominar los piroxenos y anfíboles (20%), con contenidos moderados de vidrio volcánico color café oscuro a negro (20%) y en menor proporción moscovitas y olivinos (10%).

En los 20 cm superiores del núcleo se observó la presencia de caparzones de ostrácodos, todos adultos, cerrados, articulados y completos, algunos con huellas de choques (fracturas angulares), otros con restos de sedimentos atrapados dentro de las valvas cerradas. El ensamble es dominado por organismos pertenecientes a la familia Hemicytheridae cuya morfología sugiere que se

trata de la especie *cf. Aurila convexa*, una especie marina típica de aguas cálidas (**Figura 5**). No se registran juveniles, únicamente adultos, por lo que puede tratarse de individuos alóctonos, depositados en este sitio por algún fenómeno repentino que aumentó la energía del depósito y que puede estar relacionado con cambios en las corrientes de agua marina que llegaban hasta este sitio.

Especímenes localizados a una profundidad de entre 0 y 20 cm, muestran detalles de incrustación de materiales finos en su exterior, la presencia de sedimentos atrapados dentro de las valvas y detalles de caparzones cerrados o con evidencias de impacto por choque (**Figura 6**). El alto grado de erosión que sufrieron las valvas y la cantidad de sedimento atrapado dentro de ellas, así como fuertemente adherido a su exterior, indica su exposición a condiciones ambientales muy energéticas, por ejemplo, ventarrones.

Sitio Manglar de Chocohtital

Los sedimentos del núcleo del manglar Chocohtital



Figura 5. Ostrácodos obtenidos de los sedimentos del núcleo INIFAP. En los sedimentos de los 20 cm superiores del núcleo se localizaron: **a-g:** cf. *Aurila convexa*, **h:** cf. *Potamocypris*. Barra de escala: 1 mm

observados bajo el microscopio estereoscópico mostraron componentes asociados a las dinámicas de la costa del Pacífico, con granulometrías características de los depósitos costeros, predominando las arenas finas y limos (**Figura 7**). La base del núcleo se encuentra a 95 cm y muestra una asociación mineralógica dominada por cristales de cuarzo, micas y anfíboles (hasta con más del 50%), con un contenido de arcilla menor al 15% y con un 30% de fragmentos líticos heterogéneos, sin registrarse materia orgánica ni vidrio volcánico; esta zona muestra una granoselección buena, así como madurez textural moderada.

A 60 cm de profundidad se observa una capa de limos color café claro, de 8 cm de espesor, en el cual se intercalan estructuras lenticulares muy delgadas de arcillas color café oscuro. Su contacto inferior se observa enriquecido en arcilla café muy oscuro. Los sedimentos muestran una asociación principal de cristales de cuarzo y plagioclasas (hasta 40%), seguidos en menor medida por micas y anfíboles (15%), así como abundantes fragmentos de líticos

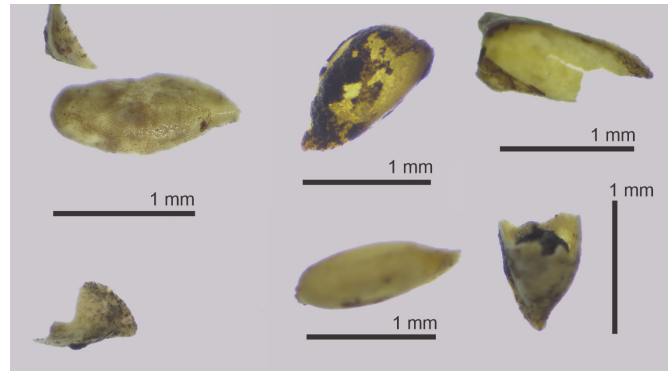


Figura 6. Fotografías de ostrácodos recuperados en sedimentos del núcleo INIFAP. Especímenes localizados a una profundidad de entre 0 y 20 cm, mostrando detalles de incrustación de materiales finos en su exterior, la presencia de sedimentos atrapados dentro de las valvas y detalles de caparazones cerrados o con evidencias de impacto por choque (fracturas ortogonales).

(hasta 30%), los contenidos de arcilla, vidrio volcánico y materia orgánica se mantuvieron igual al nivel anterior (**Figura 8**). Sobreyaciendo a la capa anterior se observa una capa de limos arenosos color café muy claro de 12 cm de espesor y que se caracteriza por presentar escasos agregados de arcilla y casi nula materia orgánica, pero dominan en sus componentes los fragmentos de líticos heterogéneos (hasta 50 %), así como los cristales minerales de cuarzo, micas y plagioclasas (40%), todos con excelente granoselección y en menor proporción vidrio volcánico (10%). Posteriormente, a los 40 cm de profundidad se observa una capa de 25 cm de grosor, muy similar a la ubicada a 60 cm de profundidad, que consiste de limos color café claro, en que se intercalan estructuras lenticulares muy delgadas de arcillas (10%) color café oscuro (**Figura 8**). La asociación mineralógica también es similar, con dominancia de cristales de cuarzo y plagioclasas (45%), fragmentos de líticos (25%) y con cantidades moderadas de micas y anfíboles (20%).

A los 10 cm de profundidad la granulometría se vuelve más fina y se observa una capa arcillosa de 8 cm de espesor y coloración café oscuro, su composición se caracteriza por un alto contenido de arcilla (70%) y presencia moderada a escasa de cristales minerales de cuarzo y plagioclasas (15%) y fragmentos líticos (5%), así como materia orgánica

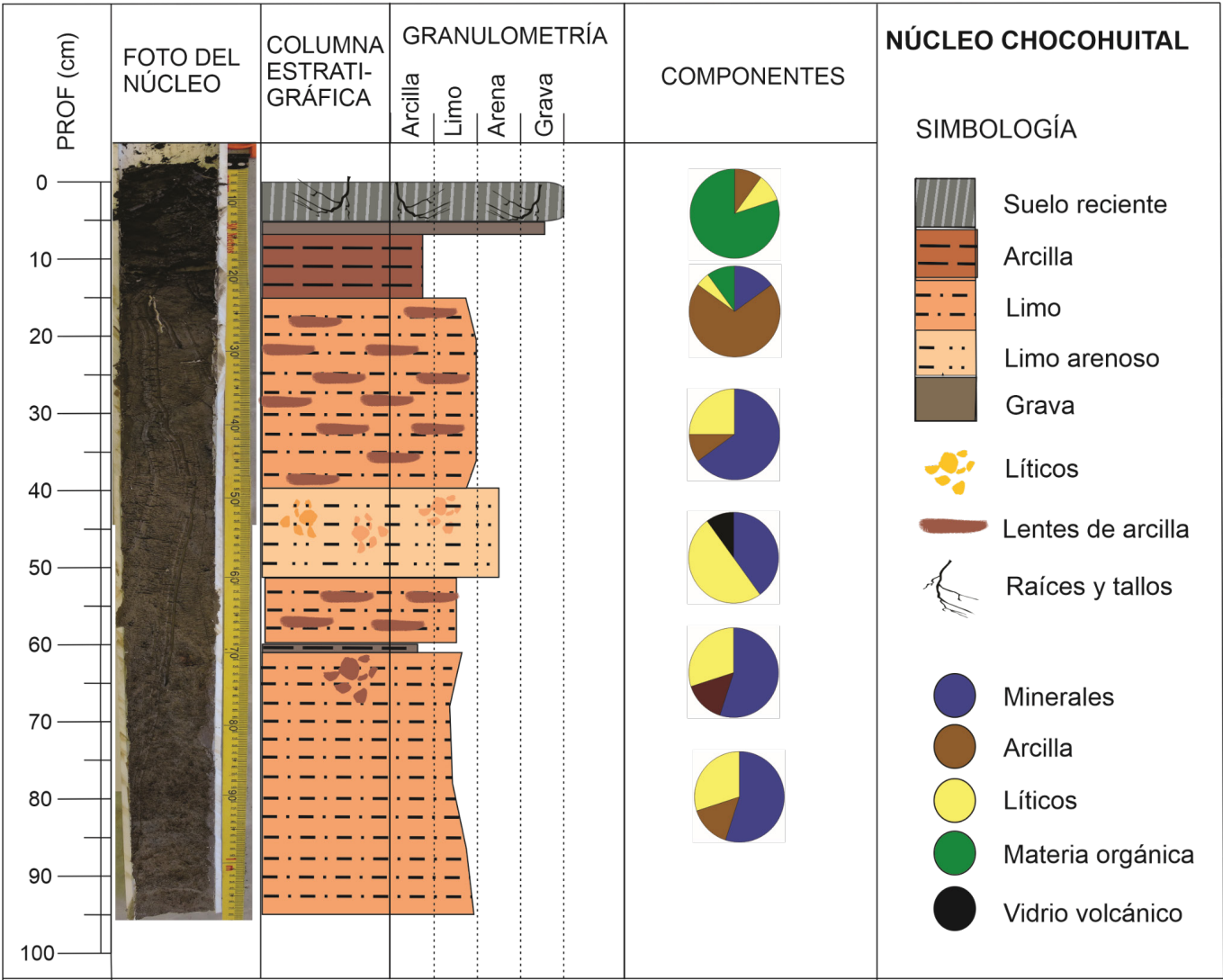


Figura 7. Registro sedimentario del sitio Chocohuital, Municipio de Pijijiapan. Fotografía del núcleo, interpretación estratigráfica, granulometría dominante y análisis de componentes para la secuencia.

(10%); esta capa presenta una alta madurez textural y es sobreyacida por un lente de grava de 2 cm de espesor (**Figura 8**). Finalmente, coronando toda la secuencia y por encima del lente de grava se observa el suelo reciente, con un espesor de 7 cm y color café muy oscuro debido a la presencia de materia orgánica vegetal en descomposición tales como restos de raíces y tallos que aún son visibles dentro del núcleo.

Para esta zona, se observaron dentro de los sedimentos cristales aislados de cuarzo, micas y anfíboles con marcas de abrasión y fracturamiento mecánico (**Figura 9**), lo cual concuerda con lo reportado previamente para otras zonas del área, que son sedimentos con presencia de cristales de cuarzo

con microtexturas derivadas de la abrasión mecánica (p.ej. marcas de percusión, marcas en forma de V y fracturas concoidales); lo anterior es consistente con un ambiente subacuoso de alta energía, cuyo agente de movilización son las corrientes eólicas muy energéticas (vientos veloces), lo cual favorece e incrementa la colisión grano a grano entre las partículas que luego se depositaron en el manglar (Armstrong-Altrin *et al.*, 2022).

Sitio San Isidro Pijijiapan

El núcleo muestra una granulometría muy fina con dominancia de arcillas y asociaciones mineralógicas homogéneas a lo largo de la secuencia sedimentaria, lo cual contrasta con los otros dos sitios estudiados

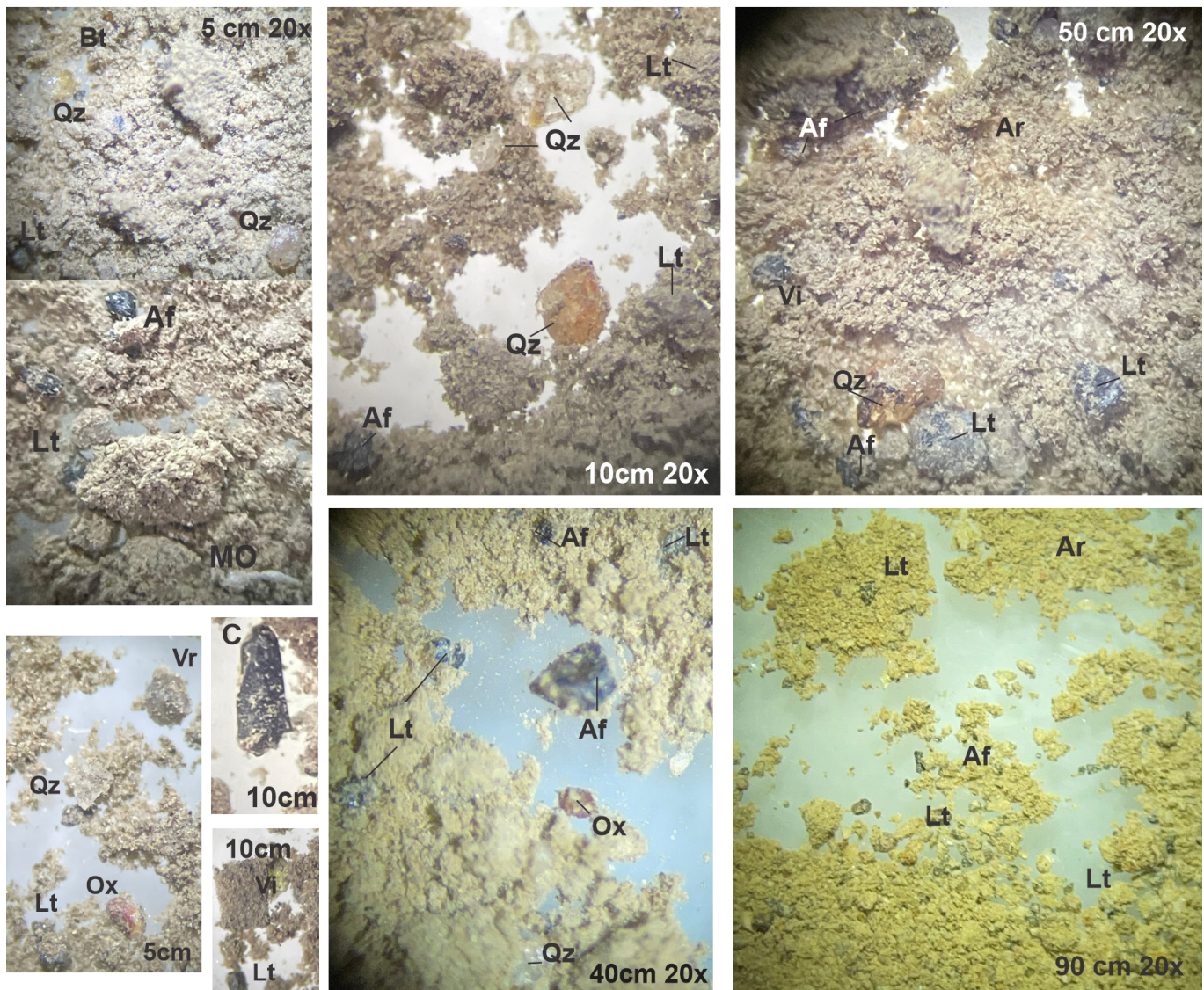


Figura 8. Imágenes de los componentes de los sedimentos analizados para el núcleo Chocohuital. Se observan los agregados de arcillas color café amarillo distribuidos en las muestras. Los centímetros indican la profundidad a la que fue obtenida la muestra, todas las observaciones se realizaron con aumentos 20x. Abreviaturas: Qz: Cuarzo, Ca: agregados de carbonatos, Ox: agregados oxidados, Bt: Biotitas, Af: Anfibol, Lt: Líticos, Ar: Arcillas, MO: Material orgánico, Vi: Vidrio volcánico, C: Carbón.

(Figura 10).

La base del núcleo se encuentra a 40 cm de profundidad y se compone de un estrato de 3 cm de espesor de arcilla color café muy claro a crema (75%), con una asociación mineralógica con presencia moderada a escasa de cristales de cuarzo y plagioclasas (hasta 15%), así como escasos fragmentos líticos (menos del 10%). Posteriormente, se observa una capa de 8 cm de espesor de arcilla limosa color café con tintes anaranjados, indicando oxidación de algunos componentes minerales, esta unidad presenta cristales de cuarzo y anfíboles (35%), así como

abundantes fragmentos de líticos de tendencia máfica (hasta 25%) y alto contenido de arcilla (<40%).

A los 29 cm profundidad se observa un contacto erosivo ondulado sobreyacido por una capa de 6 cm de espesor de arcilla (40%) color café muy oscuro, casi negro, caracterizada por la presencia de cristales de anfíboles, micas, cuarzo (30%) y escasas plagioclasas (10%), así como fragmentos líticos de tendencia máfica (20%). A esta unidad le sobryace una capa de 16 cm de espesor similar a la observada a 37 cm de profundidad, caracterizada por sedimentos arcillo-limosos color café claro

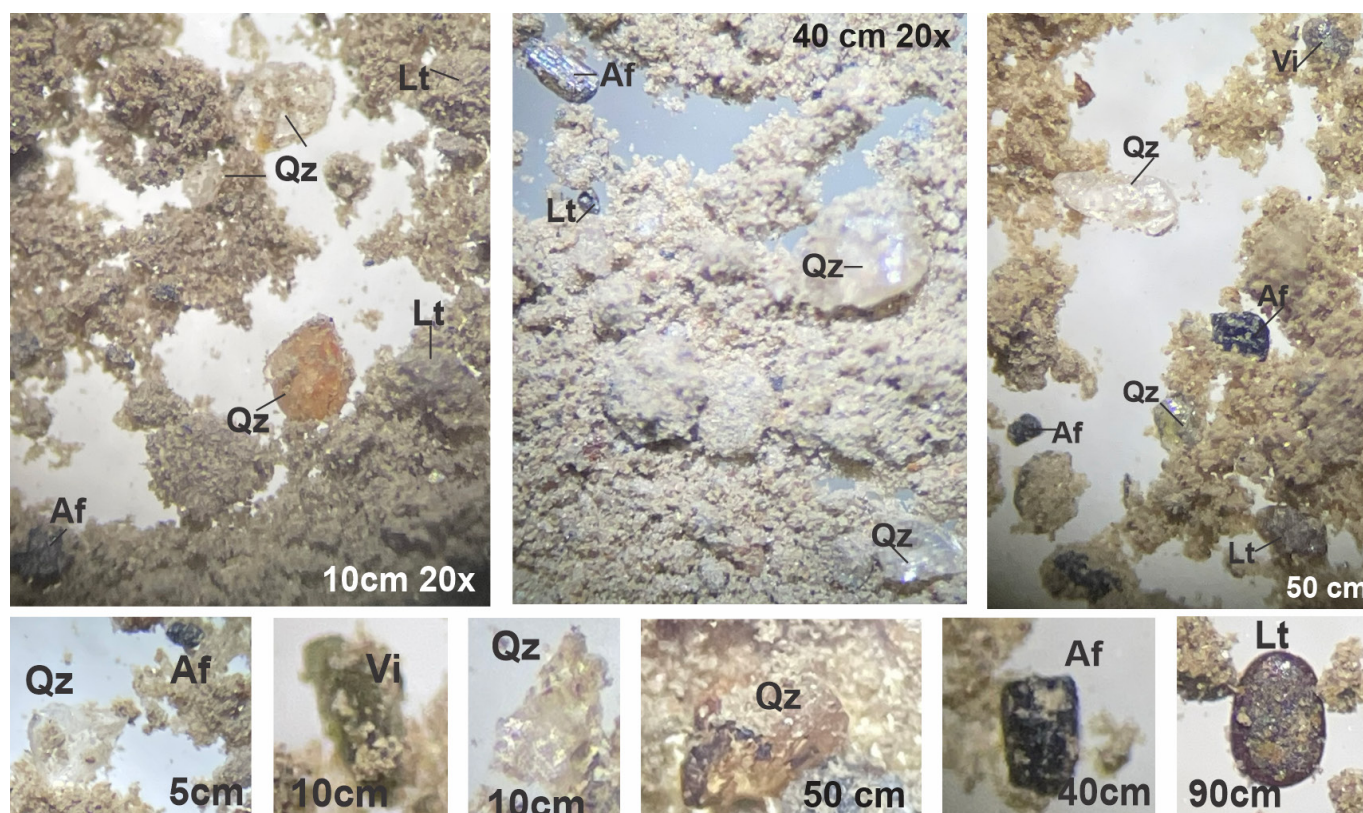


Figura 9. Fotografías de los componentes indicadores de abrasión mecánica en los sedimentos del núcleo Chocohuital. Qz: cuarzo con fracturas y abrasión, Af: anfíboles, Lt: líticos, Vi: vidrio volcánico. Todas obtenidas en microscopio estereoscópico en aumento de 20x.

con estructuras circulares color anaranjado-rojizo, indicando oxidación de los minerales que lo componen, su asociación mineralógica se caracteriza por la presencia de cristales de cuarzo, anfíboles y micas (35%), así como abundantes fragmentos de líticos de tendencia máfica (hasta 25%); el contenido de arcilla se mantuvo estable (40%) (**Figura 11**). Finalmente, Sobreyaciendo a toda la secuencia sedimentaria se observa una capa de 7 cm de espesor de arcilla color café oscuro con estructura columnar o en bloques, donde los componentes dominantes fueron la arcilla (<60%), seguido de materia orgánica vegetal (<30%) y líticos en menor proporción (10%); las características de esta capa sugiere que puede tratarse de un suelo con propiedades vérticas bien desarrolladas, sin embargo se requieren de más estudios para determinar su clasificación con seguridad.

Discusión

Los registros sedimentarios para los tres sitios

analizados muestran que, a pesar de que comparten ambientes en común (p.ej. se encuentran en la llanura costera), existen factores particulares que influyen en la composición dominante de cada uno, y que tienen que ver con la geología de la zona y los fenómenos climáticos extremos, como los huracanes. En el sitio de San Isidro Pijijiapan, los sedimentos reflejan que el sitio permanece inundado durante el tiempo suficiente para que las arcillas dominen la granulometría, causando que la acumulación de sedimentos sobrepase a los fenómenos erosivos. La dominancia de arcillas en los sedimentos de San Isidro concuerda con depósitos asociados a la planicie costera de inundación con clara influencia continental. La ausencia de microorganismos del zooplancton dentro de los sedimentos sugiere que no han existido las condiciones necesarias para su preservación, o bien que su degradación fue más rápida de lo habitual; esto puede deberse a cambios energéticos en el depósito de sedimentos posiblemente asociados con inundaciones o

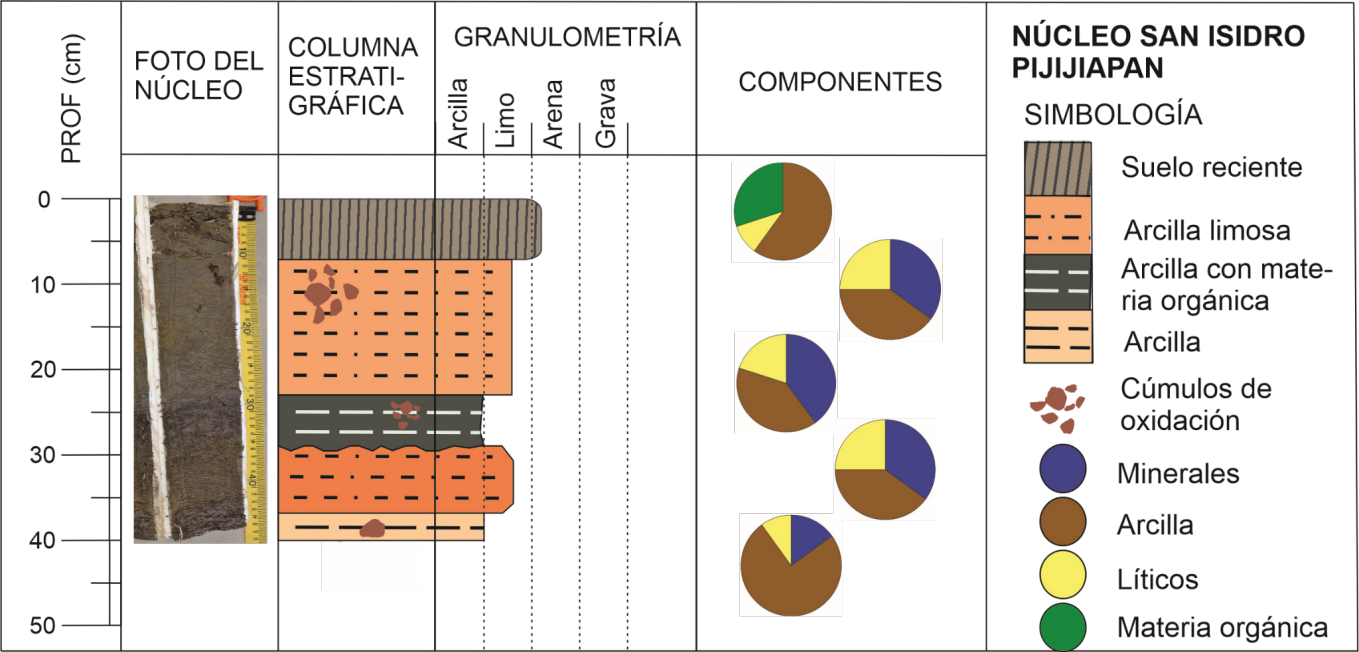


Figura 10. Registro sedimentario del sitio San Isidro, municipio de Pijijiapan. Fotografía del núcleo, interpretación estratigráfica, granulometría dominante y análisis de componentes para la secuencia.

desbordamientos, lo cual no es poco común en Pijijiapan, pues este municipio ha sido afectado por inundaciones tanto pluviales (p.ej. en 1998 debido a la tormenta tropical Earl y en 2005 debido al huracán Stan), como fluviales (p.ej. en 1933 y 1988) debido a abundantes lluvias cuyo volumen superó la capacidad del cauce del río Pijijiapan, ocasionó su desbordamiento y arrastró gran cantidad de lodo a la llanura (Castro Aguilar, 2018).

En el sitio del Chocohuitl, los sedimentos indican un ambiente de mayor energía, donde los procesos de transporte de partículas son intensos, rápidos y provienen de una fuente muy cercana, resultando en depósitos de sedimentos más influenciados por la dinámica oceánica que la continental, donde inclusive puede dominar la erosión. Las características sedimentarias sugieren que el depósito se rige por la alternancia de procesos de erosión y sedimentación, más o menos cíclica y con mucha influencia de las corrientes marinas, a excepción de la cima donde se nota más el aporte del manglar. Para esta zona, la presencia de cristales aislados de cuarzo, micas y anfíboles con marcas de abrasión y fracturas, es consistente con un ambiente subacuoso de alta energía, cuyo agente de movilización son las corrientes eólicas que favorecen e incrementa la

colisión grano a grano entre las partículas que luego se depositan en el manglar. Estas condiciones más energéticas pudieron haber condicionado también la falta de preservación de microorganismos del zooplancton (p.ej. ostrácodos) dentro de los sedimentos, pues al estar sometidos a colisiones constantes las valvas frágiles se fragmentan y degradan mucho más rápido que en ambientes menos energéticos.

Finalmente, en el sitio de INIFAP, los sedimentos muestran características similares al sitio de San Isidro Pijijiapan, donde la influencia continua de las inundaciones relacionadas a fenómenos hidrometeorológicos severos, han dejado su huella en la granulometría y los componentes del depósito. Esto se refleja en la dominancia de acumulación de arcillas de origen continental en ambientes de planicie costera de inundación (Caballero *et al.*, 2006; Murcia y Macías, 2009).

Además, este sitio ha sido afectado por la actividad volcánica holocénica y moderna del complejo volcánico del Tacaná, con al menos 11 erupciones en los últimos 3,500 años, que han provocado de forma secundaria inundaciones sin- y post-eruptivas, mejor conocidas como lahares, que inclusive condicionaron la habitabilidad de asentamientos prehispánicos. Un ejemplo importante ocurrió entre

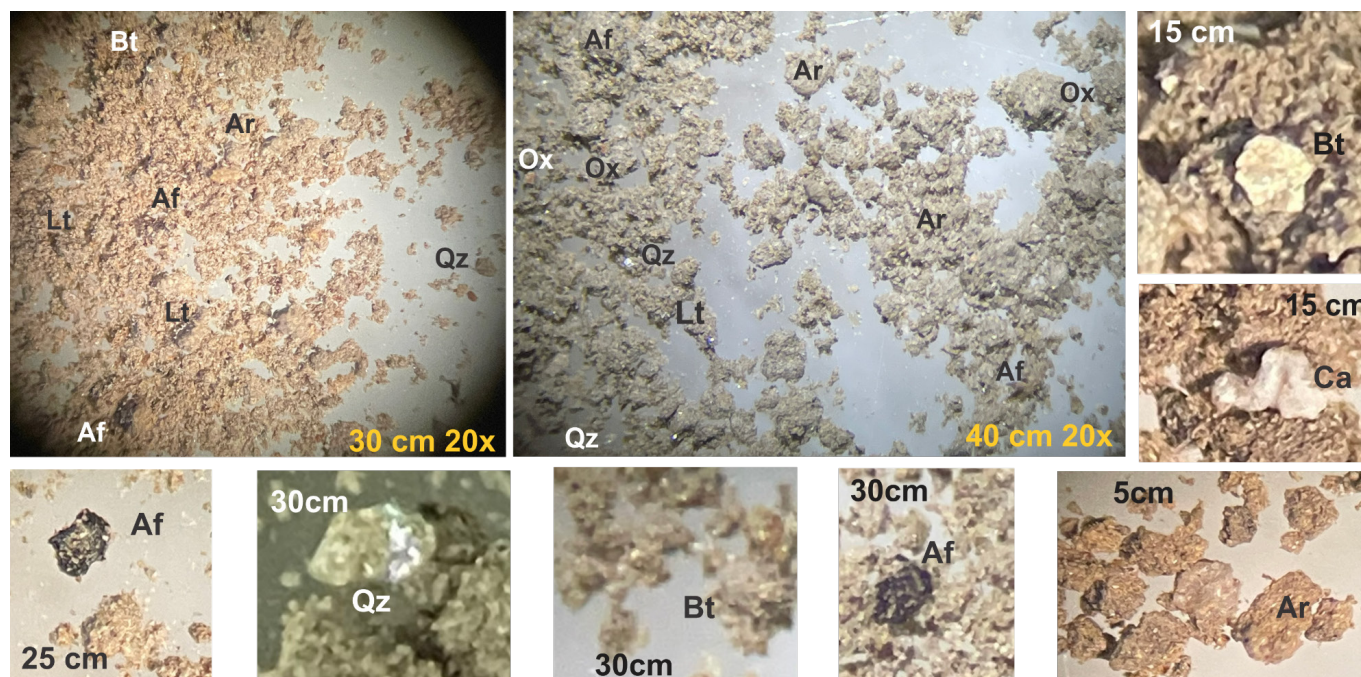


Figura 11. Imágenes de los componentes de los sedimentos analizados para el núcleo San Isidro Pijijiapan. Se observan los agregados de arcillas color café muy claro distribuidos en las muestras. Los centímetros indican la profundidad a la que fue obtenida la muestra, todas las observaciones se realizaron en aumento de 20x. Abreviaturas: Qz: Cuarzo, Ca: agregados de carbonatos, Ox: agregados oxidados, Bt: Biotitas, Af: Anfíbol, Lt: Líticos, Ar: Arcillas.

los años 30 a.C. a 80 d.C., cuando los productos eruptivos sin consolidar del volcán San Antonio se mezclaron con el agua de lluvia formando un lahar que se movió por los ríos Cahuacán, Mixcún-Suchiate e Izapa, los azolvó y causó severos daños a Izapa (Voorhies y Kennett, 1995; Guernsey, 2016; Macías *et al.*, 2018).

Precisamente el sitio de muestreo INIFAP se encuentra dentro de la llanura de inundación del río Mixcún-Suchiate, y el núcleo de sedimentos obtenido abarca los últimos 3,600 años (Hidalgo Juárez, 2021). Este núcleo conserva en sus 20 cm superiores restos de ostrácodos re TRABAJADOS, formando un ensamble de tanatocenosis de alta energía, con características que sugieren que un flujo súbito los removilizó desde su ambiente original y los redepositó en el sitio muestreado. Adicionalmente, la mayoría de las valvas de los ostrácodos se mantuvieron cerradas, indicando la respuesta de los organismos ante un cambio inesperado en su medio ambiente. Al morir y quedar sepultados estos organismos, la valva permaneció articulada e inclusive con restos del sedimento circundante en su interior. Algunos caparazones de

ostrácodos inclusive muestran evidencia de abrasión mecánica como fracturas de impactos ortogonales y pérdida de características superficiales, lo que sugiere que fueron transportados por corrientes rápidas, con una carga sedimentaria elevada y componentes que desgastaron sus superficies. Es probable que este depósito se haya originado por una inundación catastrófica reciente debida al desbordamiento del río Mixcún-Suchiate y ya que las últimas tres erupciones del complejo volcánico Tacaná ocurrieron en los años 1881, 1949 y 1986 (Macías *et al.*, 2015), no se puede descartar que se haya tratado de un fenómeno de lahar, lo que además explicaría el alto grado de erosión que sufrieron las valvas y la cantidad de sedimento atrapado dentro de ellas, así como fuertemente adherido a su exterior, ya que al ser material relativamente caliente puede aglutinarse en los ostrácodos con facilidad.

Conclusiones

Los sitios estudiados en la Llanura costera de Chiapas responden a las diferentes dinámicas biológicas, climáticas, geológicas dominantes para cada sitio y las cuales determinan las características se-

dimentarias de los depósitos. Chocohuitl refleja una dinámica costera muy energética, con escasa preservación de ostrácodos, evidencias de abrasión mecánica en cristales sueltos de minerales y con aportes de partículas costeras en los materiales preservados en los sedimentos. San Isidro Pijijiapan, a pesar de estar en la Planicie de inundación costera, sugiere una dinámica de sedimentación asociada al transporte y depósito de material aluvial y fluvial, a través de los numerosos ríos que descienden desde la Sierra Madre de Chiapas. El sitio INIFAP, aunado a la dinámica fluvial, está fuertemente influenciado por la actividad volcánica del Complejo Volcánico Tacaná, cuyas erupciones constantes en tiempos recientes han detonado fenómenos de lahares de manera continua, los cuales han afectado la fisiografía y biodiversidad local.

La preservación diferencial de los ostrácodos en los sitios estudiados refleja la respuesta de las valvas a las condiciones de sedimentación, principalmente a la energía de transporte y depósito, así como al tipo de sedimento en el que quedan incluidos. Su ausencia en Chocohuitl y San Isidro Pijijiapan sugiere un fuerte intemperismo físico en ambos, ocasionando la baja preservación de las valvas. Por otro lado, la presencia de ostrácodos en el sitio INIFAP está asociada a depósitos alóctonos originados por procesos de retrabajamiento, los cuales tienen gran probabilidad de estar relacionados con la generación de lahares recurrentes en las inmediaciones del complejo volcánico Tacaná. Se requieren estudios adicionales para determinar la dominancia de la sedimentación costera *versus* de la sedimentación asociada a desbordamiento de ríos e inundaciones en el pasado en la zona costera Chiapaneca.

Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por la beca derivada del programa de Estancias Posdoctorales por México otorgada por CONAHCyT a Diana Cinthia Soria Caballero, y por el proyecto CIC 2021-2022 otorgado a Gabriela Domínguez Vázquez.

Referencias

Alongi DM y De Carvalho NA (2008). The effect of the small-scale logging on stand characteristics and soil biogeochemistry

in mangrove forests of Timor Leste. *Forest Ecology and Management* 255:1359-1366.

Armstrong-Altrin JS, Ramos-Vázquez MA, Madhavaraju J, Verma SK, Macías-Martínez K, Martínez-Ruiz D (2022). Quartz grain microtextures in the Boca del Cielo and Chocohuitl beaches in the Mexican Pacific, Chiapas state: implication on paleoenvironment. *Arabian Journal of Geosciences* 15(11):1-11.

Bouillon S, Borges AV, Castañeda-Moya E, Diele K, Dittmar T, Duke NC, Kristensen E, Lee SY, Marchand C, Middelburg JJ, Rivera-Monroy VH, Smith TJ, Twilley RR (2008). Mangrove production and carbon sinks: a revision of global budget estimates. *Global Biogeochemical Cycles* 22:GB2013. doi:10.1029/2007GB003052.

Caballero L, Macías JL, García Palomo A, Saucedo R, Borselli L, Sarocchi D, Sánchez-Núñez JM (2006). The September 8–9, 1998 Rain-Triggered Flood Events at Motozintla, Chiapas, Mexico. *Natural Hazards* 39:103-126.

Castillo Santiago MA, Navarrete Gutiérrez DA, García G, Valencia E, Méndez D, Sarabia A, López JL, Díaz Bonifaz D (2003). MORFOPEDOLOGÍA. En: *Programa Estatal de Ordenamiento Territorial de Chiapas*. Colegio de la Frontera Sur. Tuxtla Gutiérrez. p 35-40.

Castillo Santiago MA, Navarrete Gutiérrez DA, García G, Valencia E, Méndez D, Sarabia A, López JL, Díaz Bonifaz D (2003). FRAGILIDAD NATURAL. En: *Programa Estatal de Ordenamiento Territorial de Chiapas*. Colegio de la Frontera Sur. Tuxtla Gutiérrez. p 55-59.

Castillo Santiago MA, Navarrete Gutiérrez DA, García G, Valencia E, Méndez D, Sarabia A, López JL, Díaz Bonifaz D (2003). RIESGOS. En: *Programa Estatal de Ordenamiento Territorial de Chiapas*. Colegio de la Frontera Sur. Tuxtla Gutiérrez. p 81-83.

Castro Aguilar MV (2018). Inundaciones y sus causas en la cuenca del río Pijijiapan. Tesis de Licenciatura. *Instituto de Ciencias Biológicas*. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. 48 pp.

Domínguez-Vázquez G, Hidalgo-Juárez G, León-Cortés JL (2023). Pollen rain, vegetation and connectivity in the Tacaná volcano, Southern Mexico. *Palynology* 47(1):2139001. doi: 10.1080/01916122.2022.2139001

Donato DC, Kauffman JB, Kurnianto S, Stidham M, Murdiyarso D (2011). Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. *Nature Geoscience* 4:293-297.

Flores-Verdugo FJ, Agráz-Hernández C, Benitez-Pardo D,

- (2007). Ecosistemas acuáticos costeros: Importancia, retos y prioridades para su conservación. En: *Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México*. México DF. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología US. Fish & Wildlife Service, Unidos para la Conservación. A.C. y Escuela de Biología de la Universidad Michoacana de San Nicolás Hidalgo. 293 pp.
- García G, Castillo Santiago MA, Navarrete Gutiérrez DA, Valencia E, Méndez D, Sarabia A, López JL, Díaz Bonifaz D (2003). RELIEVE. En: *Programa Estatal de Ordenamiento Territorial de Chiapas*. Colegio de la Frontera Sur. Tuxtla Gutiérrez. p 10-14.
- García G, Castillo Santiago MA, Navarrete Gutiérrez DA, Valencia E, Méndez D, Sarabia A, López JL, Díaz Bonifaz D (2003). CLIMA. En: *Programa Estatal de Ordenamiento Territorial de Chiapas*. Colegio de la Frontera Sur. Tuxtla Gutiérrez. p 15-16.
- García-Palomo A, Macías JL, Arce JL, Mora JC, Hughes S, Saucedo R, Espíndola JM, Escobar R, Layer P (2006) Geological evolution of the Tacaná Volcanic Complex, México-Guatemala. En: Rose WI, Bluth GJS, Carr MJ, Ewert JW, Patino LC, Vallance JW (eds) *Volcanic Hazards in Central America*. Geological Society of America, pp 39-57. doi:10.1130/2006.2412(03)
- Gilman EL, Ellison J Duke NC y Field C (2008). Threats to mangroves from climate change and adaptation options: A review. *Aquatic Botany* 89:237- 250.
- Guernsey J, (2016). Water, Maize, Salt, and Canoes: An Iconography of Economics at Late Preclassic Izapa, Chiapas, México. *Latin American Antiquity* 27:340–356.
- Herrera-Silveira J, Comín F y Capurro L (2004). Los usos y abusos de la zona costera en la Península de Yucatán. En: E. Rivera G Villalobos I Azuz. y F. Rosado, eds. *El manejo costero en México. Campeche*: Universidad Autónoma de Campeche, SEMARNAT, CETYS-Universidad, Universidad de Quintana Roo. p 387-396.
- INEGI (2010). Prontuario de Identificación Geográfica Municipal de los Estados Mexicanos, Pijijiapan y Tuxtla Chico, Chiapas Clave Geoestadística.
- López JL, Castillo Santiago MA, Navarrete Gutiérrez DA, García G, Valencia E, Méndez D, Sarabia A, Díaz Bonifaz D (2003). SUELOS. En: *Programa Estatal de Ordenamiento Territorial de Chiapas*. Colegio de la Frontera Sur. Tuxtla Gutiérrez. p 17-18.
- López JL, Castillo Santiago MA, Navarrete Gutiérrez DA, García G, Valencia E, Méndez D, Sarabia A, Díaz Bonifaz D (2003). VEGETACIÓN. En: *Programa Estatal de Ordenamiento Territorial de Chiapas*. Colegio de la Frontera Sur. Tuxtla Gutiérrez. p 19-24.
- Macías JL, Arce JL, Layer PW, Saucedo R, Mora JC (2015). Eruptive History of the Tacaná Volcanic Complex. En: *Active Volcanoes of Chiapas (Mexico) El Chichón and Tacaná, Active Volcanoes of the World*, edited by T. Scholamacchia and José L. Macías. p 115-138. Springer Verlag, Berlin Heidelberg.
- Macías JL, Arce JL, Capra L, Saucedo R, Sánchez-Núñez JM (2018). Late formative flooding of Izapa after an eruption of Tacaná volcano. *Ancient Mesoamerica* 29(2):361-371.
- Murcia H, Macías JL (2009). Registro geológico de inundaciones recurrentes e inundación del 4 de octubre de 2005 en la ciudad de Tapachula, Chiapas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 26:1–17.
- Ortega-Gutiérrez F, Mitre Salazar LM, Roldán-Quintana J, Aranda-Gómez JJ, Morán-Zenteno D, Alaniz-Alvarez S, Nieto-Samaniego AF (1992). Carta geológica de la República Mexicana Escala 1:2,000,000. *Consejo de Recursos Minerales y en el Instituto de Geología de la UNAM*.
- Tovilla-Hernández C (2005). Agonía y desaparición de los ríos y humedales en la costa de Chiapas. *Ecofronteras* 25:5-8.
- Vázquez R, Macías JL, Alcalá-Reygosa J, Arce JL, Jiménez-Haro A, Fernández S, Carlón T, Saucedo R, Sánchez-Núñez JM (2022). Numerical modeling and hazard implications of landslides at the Ardillas Volcanic Dome (Tacaná Volcanic Complex, Mexico-Guatemala). *Natural Hazards* 113(2):1305-1333. doi:10.1007/s11069-022-05348-1.
- Voorhies B y Kennett D (1995). Buried Sites on the Soconusco Coastal Plain, Chiapas, Mexico. *Journal of Field Archaeology* 22:65-79.
- Walters BB, Rönnbäck P, Kovacs JM, Crona B, Hussain SA, Badola RJ, Primavera H, Barbier E, Dahdouh-Guebas F (2008). Ethnobiology, socioeconomics and management of mangrove forests: a review. *Aquatic Botany* 89:220-236.