



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
UNIDAD XOCHIMILCO**

**DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD
DEPARTAMENTO EL HOMBRE Y SU AMBIENTE
LICENCIATURA EN BIOLOGÍA**

**INFORME FINAL DE SERVICIO SOCIAL
POR INVESTIGACIÓN**

**PARA OBTENER EL GRADO DE
LICENCIADO EN BIOLOGIA**

**Abundancia, biovolumen, biomasa y energía de *Azpeitia
elmorenii* en la diatomita de San Felipe, Baja California**

QUE PRESENTA EL ALUMNO

Julián Sales Pastor

ASESOR

Dr. José Luis Moreno Ruiz UAM-Xochimilco 21348

Ciudad de México

Fecha: Julio 2026

Introducción

Azpeitia elmorenii se caracteriza por ser una diatomea marina, productora primaria, plantica, que vivió en el Mioceno tardío, en la capa fótica de las columnas de agua; esta diatomea es actinomorfa, lo cual se refiere a que tiene una simetría regular y multilateral, presenta valvas circulares con una estructura cilíndrica, una rimopórtula central prominente, así como rimopórtulas marginales; se caracteriza por su preferencia a hábitats de aguas cálidas (Moreno-Ruiz *et al.*, 1994; Sims *et al.*, 1989; Wu *et al.*, 2019). Es importante mencionar que cinco especies del género todavía existen hoy en día: *A. africana*, *A. barroni*, *A. neocrenulata*, *A. nodulifera* y *A. tabularis*, esta última, es la única del género que prefiere aguas frías/subpolares (Sims *et al.*, 1989). El género *Azpeitia* ha sido problemático en su clasificación debido a su parentesco con el grupo de los *Coscinodiscus* (Moreno-Ruiz *et al.*, 1994)

El Mioceno fue un periodo geológico caracterizado por fluctuaciones climáticas variadas, las cuales marcaron las condiciones necesarias para la glaciación del Cenozoico tardío y la evolución de muchos biomas terrestres presentes en la actualidad (Kürschner *et al.*, 2008). A pesar de estas variaciones, se especula que el Mioceno medio fue el periodo más cálido de los últimos 25 millones de años, ya que las concentraciones promedio de CO₂ atmosférico se estiman entre 480 y 720 ppm, en comparación con las actuales 320 ppm. Estas altas concentraciones de CO₂, además de potenciar el efecto invernadero de la época, generaron una retroalimentación del vapor de agua que incrementó el calentamiento global (Krapp y Jungclaus, 2011). Posteriormente, el Mioceno medio marcó la transición hacia condiciones más áridas y heterogéneas, con estaciones del año más pronunciadas, lo que favoreció el desarrollo de gran parte de la mastofauna actual (Menéndez *et al.*, 2017). No obstante, en el contexto específico de *Azpeitia*, adquiere mayor relevancia la ictiofauna, ya que mantenía una interacción directa con el entorno donde ésta se desarrollaba. En sedimentos correspondientes al Mioceno tardío se han encontrado diversas familias de peces aún presentes hoy en día (Cione *et al.*, 2011), como el pez espada o marlín azul (*Makaira nigricans*), registrado en sedimentos de la formación Trinidad pertenecientes al Mioceno y Pleistoceno tardío (Fierstine *et al.*, 2001). Asimismo, se identificaron distintas especies de lamniformes, entre ellas el *Megalodon* (*Carcharocles megalodon*), además de una amplia variedad de cetáceos pertenecientes a las familias Mysticetos y Odontocetos (Collareta *et al.*, 2017).

Las dinámicas oceanográficas dentro del Golfo de California no están limitadas simplemente por las corrientes que influyen dentro del mismo. El GC (Golfo de

California) tiene un largo de 1400 km y un ancho en las zonas internas de 150-200 km (Lavín y Marinone, 2003). En la entrada del Golfo de California se registran tres tipos de masas de agua superficiales: las aguas frías de la corriente de California, con una temperatura de 22°C y salinidad menor de 34.60‰; la masa de agua del Pacífico tropical oriental, con una salinidad promedio de 34.36%-34.85‰ que proviene del sureste, y una masa cálida salina mayor de 34.9‰. Por debajo de estas masas de agua se localizan sucesivamente con la profundidad: el agua subsuperficial subtropical, con salinidad máxima de 34.80‰; el agua Antártica intermedia, que se caracteriza por salinidad menor de 34.50‰, y el agua de fondo de Pacífico con salinidad de 34.68‰ (Lara-Villa *et al.*, 1996). Igualmente es importante mencionar que el Golfo de California tiene una tasa de sedimentación bastante acelerada, con partes superiores promediando 4 mm anuales de sedimento y capas más profundas 1-2 mm anuales de sedimento. Estas tasas elevadas se deben a la alta productividad biológica presente dentro del golfo, asociado a la presencia de frecuentes surgencias en el área. Esto ocasiona que los sedimentos mantengan laminaciones anuales (varvas) las cuales permiten llevar a cabo reconstrucciones de la historia oceanográfica de la que fue parte el sedimento (Leclerc y Schrader, 1987). Esta investigación se centrará en proporcionar nueva información acerca de esta especie de diatomea extinta para solventar el vacío existente de conocimiento que existe con respecto a ella.

Existe un vacío de conocimiento substancial con respecto a *Azpeitia elmorenii*, ya que solamente se tienen algunos estudios relacionados con el género *Azpeitia*, y un estudio de índole taxonómico de *Azpeitia elmorenii*. Esto destaca la importancia de realizar estudios como el anterior, no solo para entender con mayor claridad a esta especie (en sentidos biológicos y ecológicos), sino también para determinar su energía, tomando en cuenta su trascendencia en la cadena trófica en la que participaba, al igual que su hábitat como productor primario.

Objetivo general

Conocer la biología de *Azpeitia elmorenii* en la diatomita de San Felipe, Baja California y sus posibles preferencias ambientales.

Objetivos específicos

- Determinar la abundancia de *Azpeitia elmorenii* con cuantificación por observación realizada con microscopía de luz (Moreno-Ruiz y Carreño, 1994).
- Determinar el biovolumen de *Azpeitia elmorenii* utilizando la fórmula propuesta por Hillebrand *et al.* (1999).

- Determinar la biomasa de *Azpeitia elmorenii* según Cornet-Barthaux *et al.* (2007).
- Determinar la energía de *Azpeitia elmorenii* según Platt e Irwin (1972).

Metodología

El material diatomáceo fue recolectado en la diatomita de San Felipe, Baja California en el año 1992, en las coordenadas 31°06'29" N y 114°56'25" W en el llano "El Moreno" (Moreno-Ruiz *et al.*, 1994). La pieza de diatomita recolectada tiene un grosor de 2.5 cm. El material diatomáceo se recolectó a mano, dado que el yacimiento donde se encontró originalmente es emergido, posterior a esto, el material se trasladó y se mantuvo en bolsas de plástico bien selladas en un ambiente fresco y sin sol.

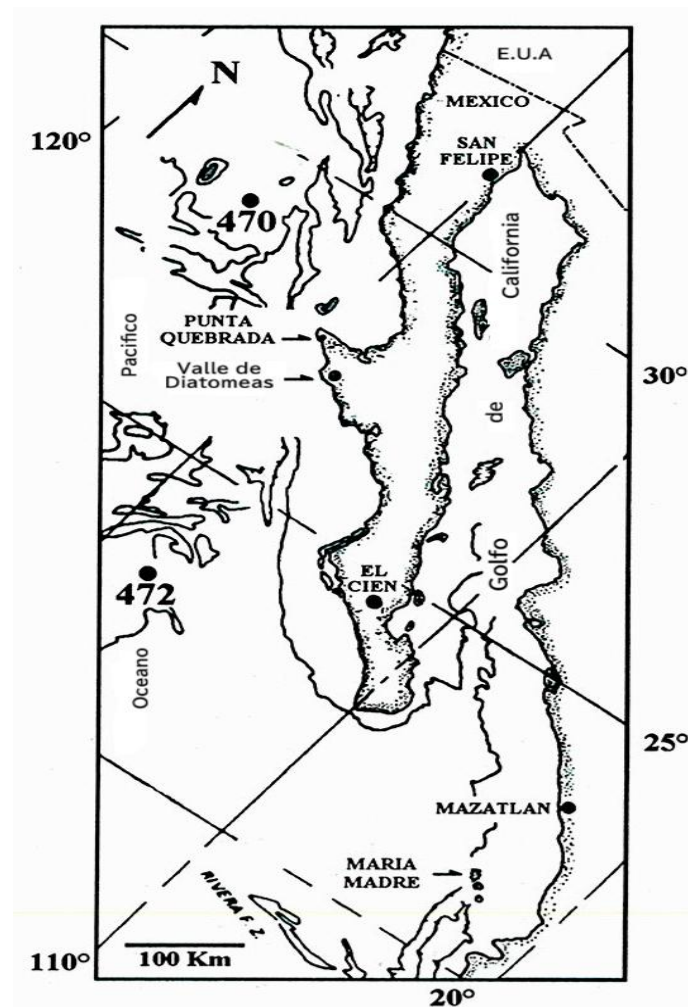


Figura 1. Area de estudio y punto de muestreo Diatomita San Felipe, Baja California.

Aislamiento de diatomeas de material silicio.

Este material se procesó según la metodología (modificada) de Lara-Villa *et al.*, (1996) y Moreno-Ruiz y Carreño, (1994). Se seccionó el pedazo de sedimento siguiendo la separación en seis lajas que presenta naturalmente la muestra de diatomita, en orden de arriba hacia abajo: 6 mm, 2.5 mm, 5 mm, 3 mm, 2 mm y 2 mm.

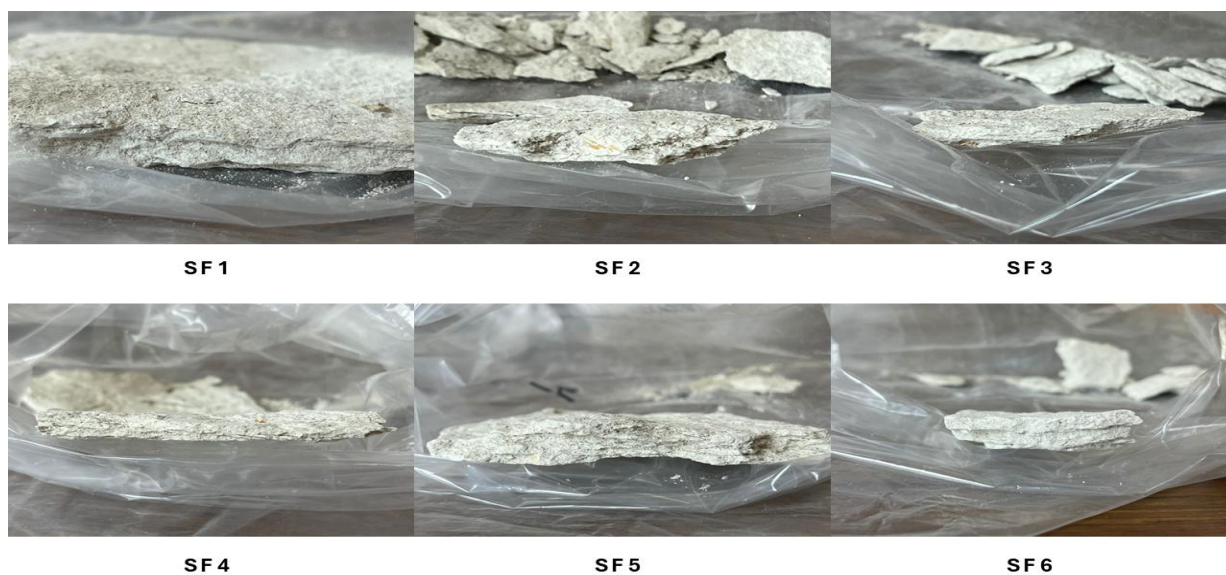


Figura 2. Seis lajas ya segmentadas SF1= 6 mm, SF2= 2.5 mm, SF3= 5 mm, SF4= 3 mm, SF5= 2 mm, SF6= 2 mm.

Posteriormente, se separó una muestra de 1 gramo separada de cada una de las seis secciones las cuales fueron enjuagadas con agua destilada, seis veces, y desionizada para retirarles el contenido de sal. Se llevaron a cabo un máximo de seis lavados por cada muestra, con un tiempo de espera promedio de asentamiento de los sedimentos de una semana.

Después de haber realizado los enjuagues, se llevó a cabo un último proceso de asentamiento de los sedimentos en una palangana de capacidad de 1.5 L con un diámetro de fondo de 12.4 cm; es importante tomar en cuenta esto, ya que se colocarán cinco cubreobjetos (cada uno de ellos con una dimensión de 24 x 50 mm) sobre portaobjetos (75 x 25 mm) en la base del recipiente, donde por gravedad, se asentara el sedimento (cada cubreobjetos se marcará con tinta negra indeleble en las orillas para facilitar su manejo) durante 48 h.

Posteriormente se decantó la mayor cantidad de líquido posible con el uso de una manguera de hule de medio metro de largo con abertura de 3 mm. A continuación, los cuatro cubreobjetos se extrajeron para secarlos a temperatura ambiente durante

12 h. Posteriormente cada cubreobjetos se adhirió a los portaobjetos con resina Naphrax (1.72 ir), los cuales se llevaron a un horno de marca Arsa a 40 °C por 48 h para llevar a cabo el proceso de cristalización de la resina. Posterior a esto, se llevó a cabo la observación de las muestras. Finalmente, para que sea de apoyo en comparaciones posteriores, se calculó la relación diámetro/altura según Hillebrand *et al.*, (1999) Esta es calculada tomando en cuenta y dividiendo el diámetro promedio de la valva y la altura promedio del cíngulo.

Cálculo de Abundancia

Lara-Villa *et al.*, (1996) mencionan que, para realizar la estimación de la abundancia de las especies de fitoplancton contenidas en una muestra de agua o sedimento, un censo se tiene que llevar a cabo. En este censo se tomarán mediciones múltiples para la realización de un análisis de diversas características ecológicas de los mismos, estas incluirán: la identificación de la especie de interés para el estudio (*Azpeitia elmorenii*) y toma de medidas morfológicas del organismo. En esta primera sección, se priorizará el censado de *Azpeitia elmorenii* dentro de los sedimentos, para hacer una estimación de su abundancia dentro de la muestra, el cual se llevó a cabo utilizando microscopía de luz, específicamente con los microscopios Motic óptico. En este caso específico, se tomaron en cuenta las células que estuvieron completamente intactas sus estructuras, las que estuvieron por la mitad o si el fragmento es reconocible como *Azpeitia elmorenii* también se consideraron dentro del conteo (Lara-Villa *et al.*, 1996, Moreno-Ruiz y Carreño, 1994), que se realizaron generando transectos dentro del campo visual que el microscopio proporcione.

Cálculo de Biovolumen

Basándose en la metodología estandarizada por Hillebrand *et al.* (1999), el cálculo del biovolumen para microalgas cilíndricas requirió medir dos dimensiones lineales con microscopio: el diámetro (d) y la altura (h) de la célula.

La fórmula geométrica universal para calcular el volumen (V) de un cilindro recto es: $V = \pi \cdot r^2 \cdot h$. Dado que el radio (r) es la mitad del diámetro (d), la fórmula operativa se convierte en: $V = \pi \cdot (d/2)^2 \cdot h$, o de forma simplificada y equivalente a $V = (\pi/4) \cdot d^2 \cdot h$.

Para aplicar las fórmulas ya mencionadas, se deberá medir el diámetro y la altura de la célula utilizando un microscopio con un ocular micrométrico calibrado. Se recomienda realizar estas mediciones en al menos 100-150 células de la misma especie para obtener un valor representativo, y que el porcentaje de error se

disminuya al menos al 10% (Lara-Villa *et al.*, 1996) calculando posteriormente la mediana de las dimensiones.

Para realizar el cálculo posterior, se introdujeron las medianas del diámetro (d) y la altura (h) en la fórmula. Todas las medidas deben de estar en las mismas unidades (generalmente micrómetros, μm) para que el resultado del volumen esté en micrómetros cúbicos (μm^3). Por último, siguiendo el modelo geométrico de cilindro propuesto por Hillebrand *et al.* (1999), quienes establecen las ecuaciones tanto de volumen ($V = \pi \cdot r^2 \cdot h$) como de superficie ($A = 2\pi r^2 + 2\pi r \cdot h$) para esta forma, se calculó una relación superficie/volumen (S/V), para que puedan ser utilizadas como material de apoyo en comparaciones posteriores.

Cálculo de Biomasa

Posterior a seguir las recomendaciones de Hillebrand *et al.*, (1999). Se calculo la biomasa de carbono de las células utilizando la ecuación corregida y recomendada por Cornet-Barthaux *et al.* (2007).

$$\log_{10}C \text{ (pg)} = 0.76 \log_{10} [\text{cell volume } (\mu\text{m}^3)] - 0.352 \text{ (1)}$$

log= logaritmo, C= Carbono, pg= picogramos.

Cálculo del valor calórico de *Azpeitia elmorenii*

Habiendo realizado ya los cálculos de cantidad de carbono, Platt e Irwin, (1972) proponen un método eficiente y preciso para estimar el contenido energético (calórico) del fitoplancton, incluidas las diatomeas, basándose en su composición bioquímica, específicamente en su contenido de carbono. La clave del método reside en expresar el valor calórico en términos de gramos de carbono en lugar de gramos de peso seco. Esto reduce la variabilidad de los factores de conversión, como son las proteínas, carbohidratos y lípidos, ya que todos estos contienen niveles diferentes calóricos y de carbono.

El proceso comienza calculando la energía de una muestra de diatomeas (o fitoplancton en general) determinando su contenido de carbono. El valor calórico se predice utilizando una ecuación de regresión lineal derivada empíricamente a partir del análisis de muestras de fitoplancton. Sin embargo, utilizando la constante que menciona Platt e Irwin, (1972) que es: 1 mg = 11.40 cal, ya conociendo la biomasa en carbono, (por ejemplo, a partir de estudios de producción primaria con ^{14}C o de estimaciones de biovolumen convertidas a carbono), la energía total se calcula directamente multiplicando los mg de carbono por 11.40.

Análisis Estadístico

Para llevar a cabo el procesamiento de datos, se utilizó la última versión del programa PAST (Paleontological Statistics) de Hammer (2025). Tomando como referencia a De la Lanza-Espino, (1991), Moreno-Ruiz, (2009) y Moreno-Ruiz *et al.*, (2011) 50 variables físicas, químicas, y biológicas serán analizadas para entender la composición ecológica que tenía *Azpeitia elmorenii* en su ecosistema.

Estas variables son: pH, Salinidad (H), Preferencia térmica (T), Nitritos (NO_2), Nitratos (NO_3), Amonio (NH_4), Amoniacó (NH_3), Fosfato (PO_4), Relación NT:PT, Frecuencia, Dominancia, Florecimientos (Blooms), Riqueza de especies, Diversidad (Shannon y Wiener, H'), Forma de vida (Lf), Conductividad (Con), Turbidez (Tur), Arcillas (Arc), Limos (Lim), Arenas (Are), Cloro (Cl), Sodio (Na), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Hierro (Fe), Cadmio (Cd), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Manganeseo (Mn), Níquel (Ni), Plomo (Pb), Zinc (Zn), Materia orgánica (MO), Carbono orgánico (CO), Sólidos totales disueltos (TSD), Saturación de oxígeno (O_2), Oxígeno disuelto (OD), Grasas y aceites (GyA), Hidrocarburos (DH), Índice Trófico (Ti), Producción Primaria (PP), Coliformes fecales, Coliformes totales, Dióxido de silicio (SiO_2), Iones de silicato (SiO_4), Abundancia (Ab), Biovolumen (Bv), Biomasa (Bm), Energía (E) Moreno-Ruiz (2009) Moreno-Ruiz (2011).

Actividades realizadas

Se realizaron seis enjuagues de las muestras de sedimentos en un lapso de un mes y medio dentro del laboratorio. Posteriormente, el sedimento se dejó asentar y secar sobre cubreobjetos donde se fijaron con resina Naphrax, la cual se dejó secar en hornos de marca Arsa. Posterior a que las muestras se secasen, se formó un acervo fotográfico de dichas muestras, observándolas y fotografiándolas en distintos microscopios con distintas características. Primero se observó en un microscopio Motic óptico a 400 aumentos, es importante mencionar que solo se fotografió a la muestra que mostraba mejor distribución de sedimentos, para facilitar su observación. Posteriormente, se obtuvieron fotografías en un microscopio Olympus, aplicando contraste de fase, igualmente a 400 aumentos y, por último, en el mismo microscopio se observaron con aceite de inmersión a 1000 aumentos. Se llevó a cabo este proceso para facilitar la estimación de la abundancia, y las medidas de morfología celular, que posteriormente se utilizaron.

Metas alcanzadas

Se logró un panorama integral sobre la energía producida por *Azpeitia elmorenii* al haber estimado, por primera vez, de manera conjunta, cuatro parámetros que no habían sido documentados previamente: morfología detallada (estimada a partir de

más de 300 mediciones), abundancia, biovolumen, biomasa y energía. Directamente, esta información sirve para solventar el vacío de conocimiento sobre la especie.

Resultados y conclusiones

Se realizaron 300 mediciones morfológicas de ejemplares de *Azpeitia elmorenii* procedentes de los seis niveles de la diatomita de San Felipe, Baja California. Las variables consideradas fueron el diámetro valvar y la altura del cingulo, debido a que ambas constituyen los parámetros necesarios para la estimación posterior del biovolumen celular.

Las diferencias morfológicas entre los distintos niveles sedimentarios fueron relativamente pequeñas (Cuadro 1). Los diámetros promedio oscilaron entre 127.430 μm en SF2 y 142.715 μm en SF5. Por otro lado, la altura promedio presentó valores máximos en SF1 (9.230 μm) y mínimos en SF5 (6.174 μm). En términos generales, se observó una ligera tendencia al incremento del diámetro valvar y una disminución de la altura hacia los niveles inferiores de la secuencia.

El promedio general del diámetro fue de $135.918 \pm 30.000 \mu\text{m}$ (Cuadro 1), mientras que la altura promedio general del cingulo fue de $7.317 \pm 3.193 \mu\text{m}$. Estos valores indican que *A. elmorenii* corresponde a una diatomea céntrica de tamaño relativamente grande, característica congruente con las descripciones taxonómicas originales realizadas por Moreno-Ruiz *et al.* (1994).

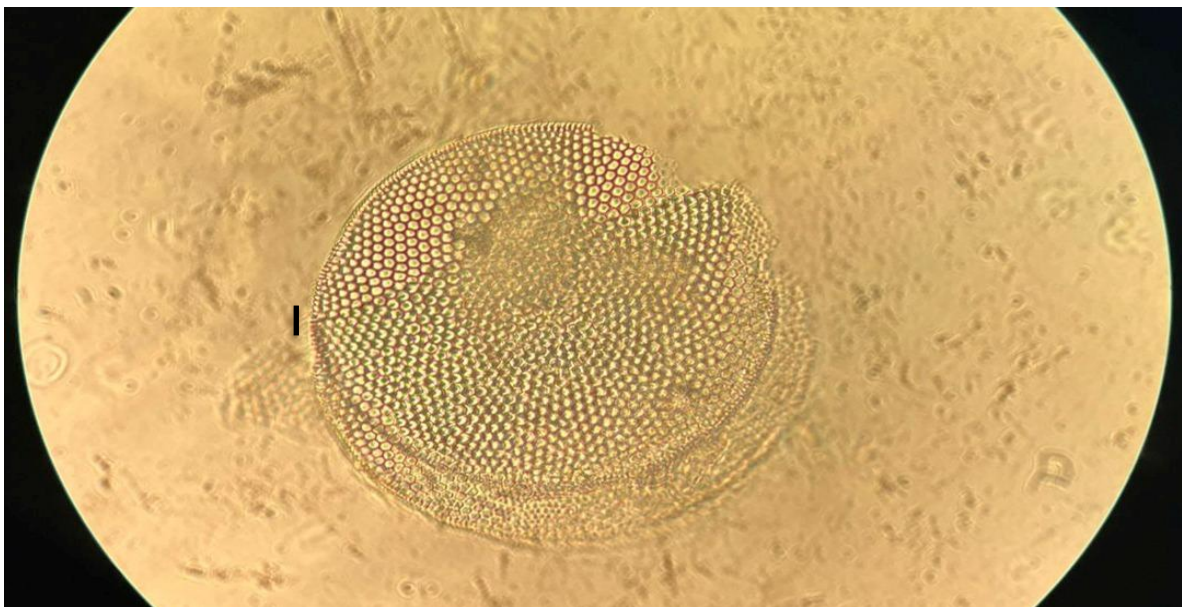


Figura 3. Vista valvar y cingular de *Azpeitia elmorenii* en microscopía de luz. La escala representa 10 μm .

Cuadro 1. Comparación de datos morfométricos de *Azpeitia elmorenii*.

Parámetro	Este estudio		Moreno-Ruiz <i>et al</i> (1994)	
	Diámetro valvar promedio (μm)	Altura del cingulo promedio (μm)	Diámetro valvar (μm)	Altura del cingulo (μm)
Nivel	SF1-3 = 127.863	SF1-3 = 9.23	-	-
	SF2-1 = 127.430	SF2-1 = 8.08	-	-
	SF3-5 = 136.512	SF3-5 = 7.151	-	-
	SF4-1 = 142.411	SF4-1 = 7.003	-	-
	SF5-5 = 142.714	SF5-5 = 6.174	-	-
	SF6-3 = 138.581	SF6-3 = 6.264	-	-
Promedio total	135.918 $\pm$ 30.000 μm	7.317 $\pm$ 3.193 μm	95.65 – 27.1 (Rango)	Descrito como “poco profundo”

Los valores morfológicos para *A. elmorenii* obtenidos en los seis niveles de la diatomita de San Felipe, mencionados anteriormente, amplían significativamente el rango morfométrico previamente documentados para la especie. La descripción original de *A. elmorenii* en Moreno-Ruiz *et al.* (1994) reportó un diámetro valvar de 27.1 a 96.65 μm , basado en 124 valvas provenientes de la misma localidad. Los registros recién estimados superan este límite por casi 40 μm , lo que sugiere que la especie alcanza tamaños más grandes de lo registrado anteriormente. Esta diferencia se puede atribuir a un número de factores; pero los dos más evidentes son el número de células medidas (mayor a 300 en contraste con 124) y la inclusión

de seis niveles estratigráficos en este caso en comparación con un solo nivel analizado por Moreno-Ruiz *et al.* (1994).

La altura del cóngulo (7.32 μm promedio) no fue cuantificada en la diagnosis original, donde solo se describió al manto como "poco profundo" (*shallow mantle*) y formado por dos anillos de aréolas alternados (Moreno-Ruiz *et al.*, 1994). Los datos calculados aportan una medida concreta de esta dimensión, esencial para el cálculo del biovolumen celular. La relación diámetro/altura fue estimada dividiendo el promedio del diámetro valvar (135.92 μm) y la altura promedio del cóngulo (7.32 μm). Este cálculo dio una relación de 18.6:1. El uso de cocientes entre dimensiones lineales como índices morfométricos de la forma celular es una práctica reconocida en el análisis de diatomeas (Snoeijs *et al.*, 2002); en este sentido, la relación diámetro/altura obtenida indica que *A. elmorenii* presenta una morfología valvar muy aplanada, típica de diatomeas céntricas planctónicas de aguas cálidas, similar a lo observado en otras especies del género *Azpeitia* como *A. nodulifera* o *A. tabularis* (Sims *et al.*, 1989; Shiono y Koizumi, 2002).

La abundancia de *Azpeitia elmorenii* presentó una variación considerable entre los seis niveles analizados de la diatomita de San Felipe. El valor más alto se registró en SF1 con 13,800,600 Cél/g, seguido de SF3 (8,531,280 Cél/g) y SF2 (8,029,440 Cél/g). Los niveles inferiores en cambio mostraron los valores más reducidos, con SF5 registrando 2,509,200 Cél/g y SF6 el mínimo de 2,157,912 Cél/g. El promedio general fue de 7,092,672 Cél/g. En conjunto, se observa una tendencia de disminución progresiva desde los niveles superiores hacia los inferiores de la secuencia sedimentaria, con algunas fluctuaciones intermedias.

La abundancia no fue uniforme a lo largo de los seis niveles. Se observa una disminución gradual de SF1 a SF6, aunque con algunas variaciones. Esto sugiere que la especie no fue constante en el tiempo, sino que su presencia estuvo controlada por ciclos de productividad estacional o interanual según Lavín y Marinone (2003), quienes mencionan que, en el Golfo de California actual, la circulación superficial es estacional (invierno en contraste con el verano), con cambios en la profundidad de la capa de mezcla. Cabe la posibilidad que, en el Mioceno tardío, *A. elmorenii* respondiera a dicha estacionalidad, floreciendo en épocas de mayor estabilidad de la columna de agua o de mayor entrada de nutrientes.

Moreno-Ruiz *et al.* (1994) no cuantificaron la abundancia de *A. elmorenii*, por lo que los datos presentados son de los primeros en proporcionar esta información. Sin embargo, estudios como el de Shiono y Koizumi (2002) sobre *A. endoi* y *A. tabularis* en el Pacífico Norte indican que estas especies también presentan fluctuaciones de abundancia ligadas a cambios climáticos y oceanográficos. Nuestros resultados se

alinean con esa visión: *A. elmorenii* no fue un componente menor, sino una especie muy abundante en la diatomita de San Felipe.

Debemos considerar que la abundancia se expresó en células por gramo de sedimento seco, no en células por litro de agua de mar, por lo que estos valores no son directamente equiparables con abundancias de fitoplancton medidas en la columna de agua actual. Sin embargo, Abrantes, (2000), al comparar ensambles de diatomeas vivas y su registro sedimentario en sistemas de surgencias costeras del margen de Portugal y noroeste de África, encontró que las diatomeas dominantes en el sedimento reflejan fielmente los patrones de distribución de sus contrapartes vivas en la columna de agua. Esto respalda que, en ambientes de surgencias recurrentes como el propuesto para el Golfo de California (Moreno-Ruiz y Carreño, 1994), la abundancia sedimentaria puede considerarse una estimación comparable de la dinámica poblacional que existió en la columna de agua. Es importante mencionar igualmente que la preservación de las estructuras silíceas pudo afectar los conteos celulares, sin embargo, Moreno-Ruiz y Carreño (1994) señalan que las diatomitas de Baja California tienen una excelente preservación debido a la alta productividad y a la rápida sedimentación (4 mm anuales en partes superiores, según Leclerc y Schrader, (1987). El método de conteo (transectos, considerando células enteras, mitades o fragmentos reconocibles) sigue los criterios operativos de Lara-Villa *et al.* (1996) y Moreno-Ruiz y Carreño (1994).

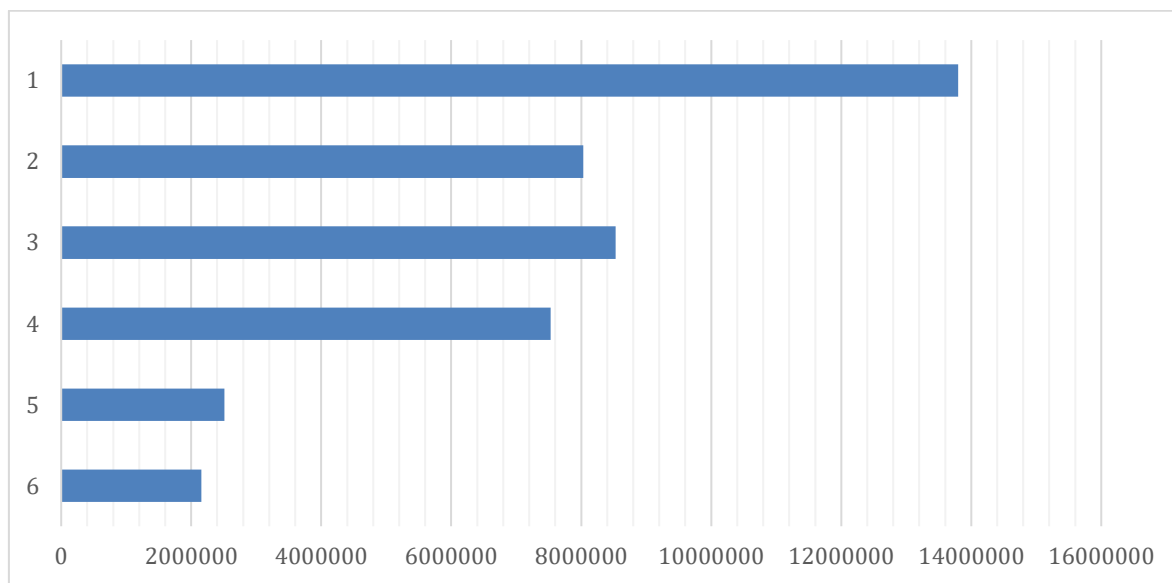


Figura 3. Abundancia (Céls/g) de *A. elmorenii* en los seis niveles estratigráficos.

El biovolumen total de *Azpeitia elmorenii* por gramo de sedimento, calculado a partir de las dimensiones morfológicas promedio de cada nivel mediante la fórmula para cilindros propuesta por Hillebrand *et al.* (1999), mostró una tendencia paralela a la

observada para la abundancia. El valor máximo se registró en SF1 ($1.451 \times 10^{12} \mu\text{m}^3/\text{g}$), seguido de SF3 ($8.972 \times 10^{11} \mu\text{m}^3/\text{g}$) y SF2 ($8.444 \times 10^{11} \mu\text{m}^3/\text{g}$), mientras que los niveles inferiores presentaron los valores más bajos: SF5 ($2.639 \times 10^{11} \mu\text{m}^3/\text{g}$) y SF6 ($2.269 \times 10^{11} \mu\text{m}^3/\text{g}$). El promedio general fue de $7.459 \times 10^{11} \mu\text{m}^3/\text{g}$. Se calculó una relación superficie/volumen (S/V) de aproximadamente $0.303 \mu\text{m}^{-1}$ siguiendo el modelo geométrico de cilindro propuesto por Hillebrand *et al.* (1999), quienes establecen las ecuaciones tanto de volumen ($V = \pi \cdot r^2 \cdot h$) como de superficie ($A = 2\pi r^2 + 2\pi r \cdot h$). De esta forma, se calculó una relación superficie/volumen (S/V), para que pueda ser utilizada como material de apoyo en comparaciones posteriores.

A partir de las dimensiones morfológicas promedio (diámetro = $135.92 \mu\text{m}$; altura del cingulo = $7.32 \mu\text{m}$) y aplicando la fórmula estandarizada para cilindros de Hillebrand *et al.* (1999), se estimó un biovolumen celular individual de $\sim 1.06 \times 10^5 \mu\text{m}^3$. Este valor es aproximadamente 1.9 veces mayor que el reportado por Cornet-Barthaux *et al.* (2007) para *Azpeitia tabularis* ($5.59 \times 10^4 \mu\text{m}^3$), lo cual es consistente, dado el mayor diámetro valvar de *Azpeitia elmorenii*.

La elevada relación diámetro/altura (18.6:1) observada en *A. elmorenii* indica una morfología discoide. Siguiendo el modelo geométrico de cilindro propuesto por Hillebrand *et al.* (1999), se calculó una relación superficie/volumen (S/V) de aproximadamente $0.303 \mu\text{m}^{-1}$. De acuerdo con Cornet-Barthaux *et al.* (2007), valores bajos de S/V son característicos de diatomeas de gran tamaño ($> 10,000 \mu\text{m}^3$), las cuales tienden a privilegiar estrategias de defensa contra la depredación, al dificultar su ingestión por el zooplancton, en lugar de especializarse en una absorción rápida de nutrientes. Esta característica morfológica resulta consistente con la variación estratigráfica del biovolumen observado anteriormente, ya que el nivel SF1, además de presentar el biovolumen máximo, también registró la mayor altura del cingulo ($9.23 \mu\text{m}$) entre los seis niveles analizados. Este incremento puntual en la altura celular sugiere que, durante la deposición de SF1, existieron condiciones de mayor estabilidad de la columna de agua, mayor disponibilidad de sílice o eventos de surgencia más intensos, factores asociados por Moreno-Ruiz y Carreño (1994) a periodos de surgencias costeras intensificadas y alta productividad primaria en las diatomitas de Baja California.

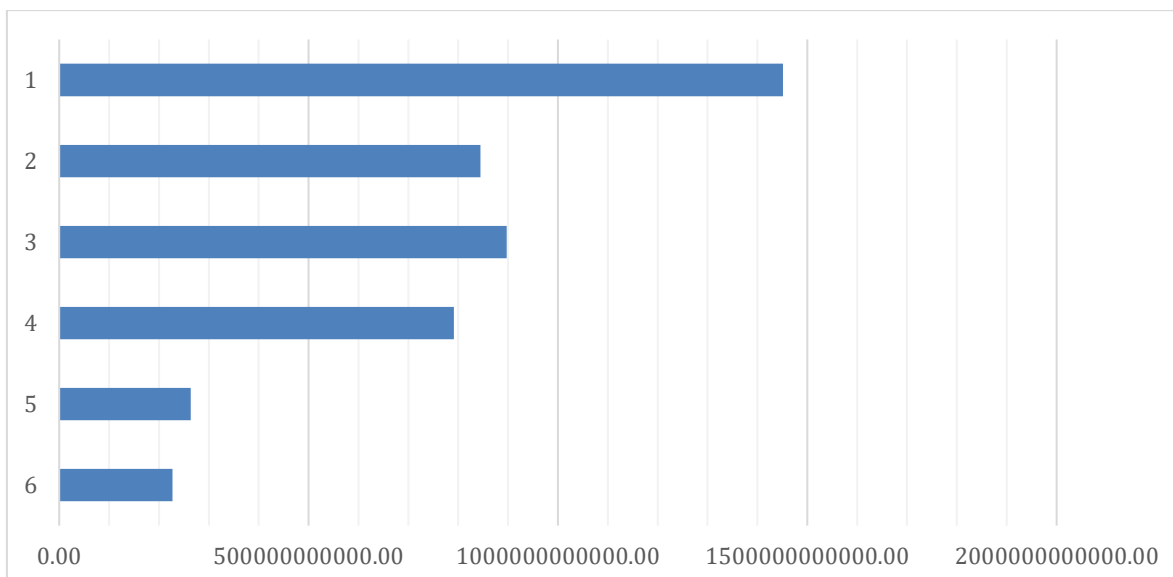


Figura 4. Biovolumen ($\mu\text{m}^3/\text{g}$) de *A. elmorenii* en los seis niveles estratigráficos.

Los valores de biomasa de carbono de *Azpeitia elmorenii*, calculados mediante la ecuación de Cornet-Barthaux *et al.* (2007) a partir del biovolumen celular estimado para cada nivel, mostraron una variación considerable a lo largo de la secuencia sedimentaria. El nivel SF1 presentó la biomasa más elevada con 0.4023 mgC/g, seguido de SF3 (0.2487 mgC/g) y SF2 (0.2341 mgC/g), mientras que los valores más bajos se registraron en los niveles inferiores SF5 (0.0731 mgC/g) y SF6 (0.0629 mgC/g). El promedio general fue de 0.2067 mgC/g. Este patrón de disminución progresiva desde los niveles superiores hacia los inferiores de la secuencia es consistente con las tendencias observadas en la abundancia y el biovolumen.

La marcada disminución de la biomasa desde SF1 (0.4023 mgC/g) hacia los niveles más profundos SF5 y SF6 (menor a 0.074 mgC/g) sugiere que las condiciones ambientales durante la sedimentación del nivel superior fueron favorables para el desarrollo de *A. elmorenii*, mientras que en los niveles inferiores la especie tuvo una contribución mucho menor a la producción primaria. Este patrón es consistente con lo observado para la abundancia y el biovolumen, y refleja cambios en la intensidad de las surgencias, la disponibilidad de nutrientes (especialmente silicio y nitratos) y en la temperatura del agua durante el Mioceno tardío. Sims *et al.* (1989) señalan que las especies del género *Azpeitia* son características de aguas oceánicas cálidas y están frecuentemente asociadas a sedimentos de alta productividad, como los del Pacífico ecuatorial. Por su parte, Moreno-Ruiz *et al.* (2011) documentaron en la Laguna Superior, Oaxaca, que las diatomeas de gran biovolumen y biomasa (como *Coscinodiscus radiatus* y *Thalassiosira eccentrica*) están asociadas a eventos de surgencia y a condiciones de alta productividad primaria, lo cual concuerda con el

ambiente de surgencias costeras propuesto por Moreno-Ruiz y Carreño (1994) para las diatomitas de Baja California.

En comparación con otras especies del género *Azpeitia* documentadas por Sims *et al.*, (1989), como *A. nodulifera*, *A. praenodulifera* y *A. aeginensis*, *A. elmorenii* destaca por su mayor diámetro valvar (135.9 μm vs. rangos de 25-105 μm en *A. praenodulifera* y 32-80 μm en *A. nodulifera* forma *cyclopa*) y su mayor biomasa celular (0.0000032 mgC/g). Sims *et al.*, (1989) señalan que las especies de *Azpeitia* con mantos (banda de unión que conecta las dos valvas) más profundos y rimoportulas más desarrolladas tienden a aparecer en el registro geológico más reciente (Mioceno medio a tardío), lo cual es consistente con la edad de *A. elmorenii* (~6.1 Ma). La metodología empleada para el cálculo de biomasa sigue los estándares de Cornet-Barthaux *et al.* (2007), quienes validaron el uso de la ecuación originalmente propuesta por Eppley (1970) para diatomeas oceánicas de gran tamaño, aunque reconocen que sería necesaria una calibración específica para especies del hemisferio sur. Moreno-Ruiz *et al.* (2011) aplicaron un enfoque similar en la Laguna Superior, mostrando que la integración de valores indicadores (salinidad, temperatura, nutrientes) con estimaciones de biomasa permiten una caracterización más precisa de la calidad del agua y de los procesos ecológicos. En conjunto, los resultados indican que *A. elmorenii* fue un contribuyente significativo al flujo de carbono en el paleoecosistema marino de Baja California, y que su biomasa fluctuó en respuesta a cambios paleoambientales, posicionándose como una especie clave en la cadena trófica de la región, especialmente en el nivel SF1 donde alcanzó su máximo desarrollo.

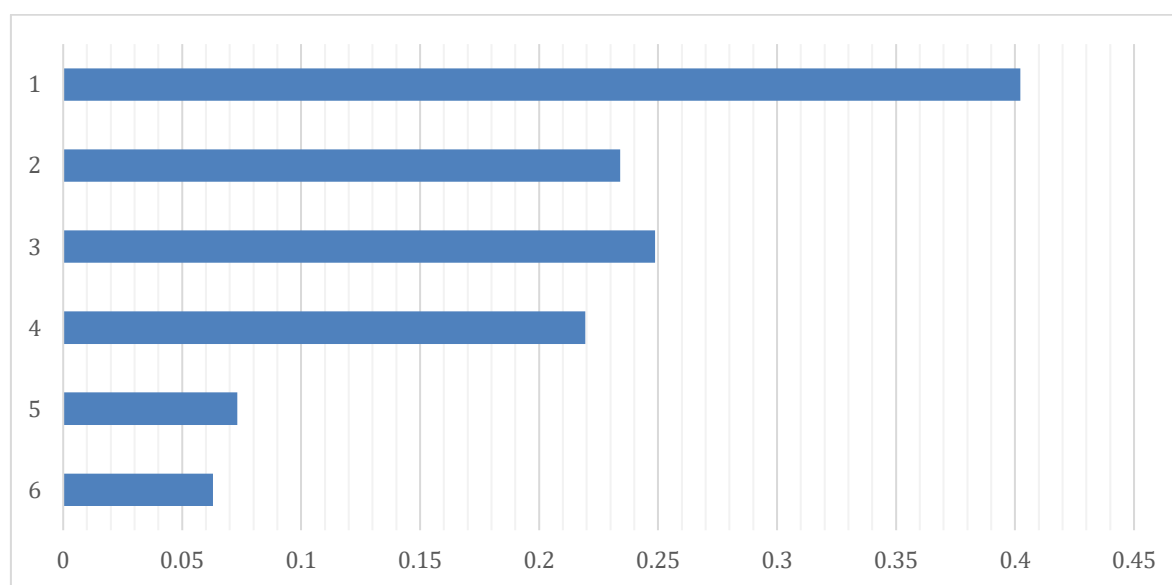


Figura 5. Biomasa (mgC/g) de *A. elmorenii* en los seis niveles estratigráficos.

Los valores en calorías de *Azpeitia elmorenii*, estimados a partir de la biomasa en carbono mediante el factor de conversión de Platt e Irwin (1972) de 1 mg C = 11.40 cal, mostraron una amplitud considerable entre los seis niveles de la secuencia. SF1 presentó el valor máximo con 4.586 cal/g, seguido de SF3 (2.835 cal/g) y SF2 (2.668 cal/g), en contraste a los niveles inferiores que registraron valores más reducidos: SF5 (0.834 cal/g) y SF6 (0.717 cal/g). El promedio general fue de 2.357 cal/g. En conjunto, se observa una disminución progresiva de los valores energéticos desde los niveles superiores hacia los inferiores de la secuencia sedimentaria, tendencia consistente con la observada para la abundancia, el biovolumen y la biomasa.

Los valores energéticos obtenidos para *Azpeitia elmorenii* mostraron una variación considerable entre los seis niveles de la diatomita de San Felipe, con un máximo en el nivel superior SF1 (4.586 cal/g) y un mínimo en SF6 (0.717 cal/g), con un promedio general de 2.357 cal/g. Estos valores fueron calculados a partir de la biomasa en carbono (mgC/g) utilizando el factor de conversión propuesto por Platt e Irwin (1972). Este factor de conversión ha sido ampliamente utilizado en estudios de producción primaria y flujo de energía en ecosistemas acuáticos, ya que reduce significativamente la variabilidad asociada a las conversiones basadas en peso seco, que pueden oscilar entre 3,300 y 9,400 cal/g de peso seco libre de cenizas (Cummins y Wuycheck, 1971). Platt e Irwin (1972) mostraron que el contenido calórico por unidad de carbono presenta una variación mucho menor (coeficiente de variación del 10%) que el expresado por unidad de peso seco (20%), lo que, valida el uso de este factor de conversión para estimar la energía de manera consistente a partir de la biomasa carbónica, especialmente cuando no se dispone de grandes cantidades de muestra para análisis calorimétrico directo.

La marcada diferencia entre el valor máximo de energía en SF1 (4.586 cal/g) y el mínimo en SF6 (0.717 cal/g), con una reducción de 6.4 veces, refleja la misma tendencia observada para la abundancia, el biovolumen y la biomasa, lo que indica que los niveles superiores de la secuencia sedimentaria representan períodos de mayor productividad primaria y mayor acumulación de materia orgánica. Platt e Irwin (1972) señalan que la relación entre carbono y calorías es particularmente útil en estudios de producción primaria porque permite convertir directamente los resultados de los experimentos con ^{14}C (expresados en gramos de carbono producido por unidad de tiempo) a unidades de energía, facilitando el cálculo de eficiencias energéticas como el coeficiente k_b (Platt e Irwin, 1972), que relaciona la producción fitoplanctónica con la energía radiante disponible. En el contexto paleoecológico del Mioceno tardío en el Golfo de California, los altos valores energéticos de *A. elmorenii* en SF1 sugieren que esta especie fue un importante contribuyente al flujo de energía dentro de la cadena trófica marina, sustentando

probablemente a consumidores primarios como el zooplancton y, en niveles tróficos superiores, a peces y cetáceos documentados en sedimentos de la misma época (Cione *et al.*, 2011; Collareta *et al.*, 2017).

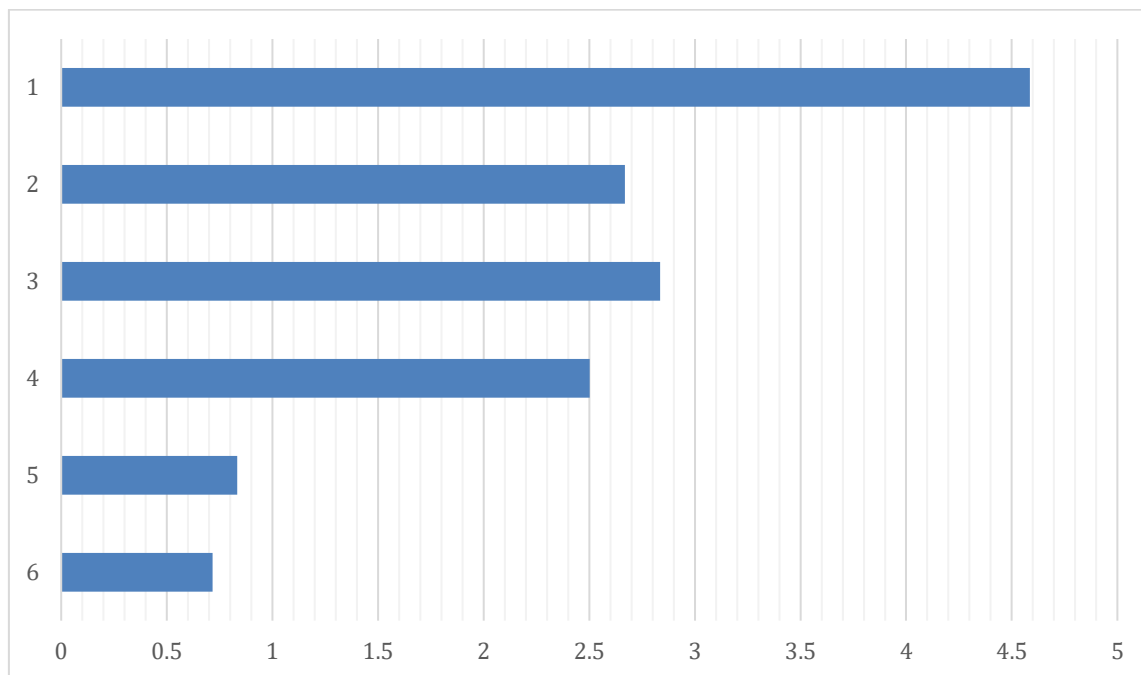


Figura 6. Energía (cal/g) de *A. elmorenii* en los seis niveles estratigráficos.

El dendrograma obtenido a partir del análisis de conglomerados (método de Ward) con 50 variables físicas, químicas y biológicas permitió diferenciar tres hábitats (I, II y III) entre los seis niveles de la diatomita de San Felipe, utilizando un coeficiente de similitud de 0.28 como línea de corte. Esta división refleja diferencias significativas en las condiciones ambientales que prevalecieron durante la deposición de cada nivel, las cuales afectaron directamente la abundancia, biovolumen, biomasa y energía de *Azpeitia elmorenii*, así como la composición física y química del sedimento. Moreno-Ruiz *et al.* (2011) aplicaron un enfoque similar en la Laguna Superior, Oaxaca, donde clasificaron 16 estaciones de muestreo en cinco hábitats distintos utilizando 15 variables indicadoras (pH, salinidad, temperatura, nutrientes, frecuencia, dominancia, diversidad, entre otras). En su estudio, los autores mostraron que el agrupamiento de sitios refleja gradientes ambientales relacionados con la salinidad, la disponibilidad de nutrientes y la influencia de surgencias costeras, lo cual es análogo a lo que observamos en la diatomita de San Felipe.

El Grupo II, conformado únicamente por el nivel SF1, presentó los valores más altos de abundancia, biovolumen, biomasa y energía, lo que indica que este nivel

representó, de manera individual, las condiciones más favorables para el desarrollo de *Azpeitia elmorenii*. Por su parte, el Grupo I (SF2-SF3-SF4) agrupó los niveles con valores intermedios de estas variables. Según Lavín y Marinone (2003), el Golfo de California es un sistema altamente dinámico donde la mezcla por mareas y las surgencias costeras generan zonas de alta productividad primaria. La ubicación de San Felipe en la región norte del golfo, cerca del archipiélago de las Grandes Islas, sugiere que el nivel SF1 pudo depositarse durante un periodo de máxima intensidad de surgencias y mayor disponibilidad de nutrientes (nitratos, fosfatos, silicio), lo que favoreció florecimientos de diatomeas de gran tamaño y se reflejó en altos valores de materia y carbono orgánicos total en el sedimento, diferenciándolo del resto de los niveles agrupados en el Grupo I. En contraste, el Grupo III (SF5-SF6), con los valores más bajos de biomasa y energía, refleja condiciones menos productivas, posiblemente asociadas a periodos de menor influencia de surgencias, aguas más frías o mayor estratificación de la columna de agua, lo que redujo el aporte de nutrientes y la disponibilidad de silicio para las diatomeas. Esta interpretación es consistente con los hallazgos de Moreno-Ruiz y Carreño (1994) en Bahía Asunción, donde las fluctuaciones en la proporción de diatomeas planctónicas, bentónicas y esporas de resistencia indicaron cambios en la profundidad del depósito y en la proximidad a la línea de costa, con intervalos de mayor productividad asociados a surgencias intensificadas por el fortalecimiento de la Corriente de California durante el Mioceno tardío. Estos cambios en la dinámica oceanográfica también modificaron variables como la salinidad, el pH y la concentración de oxígeno disuelto, que fueron incorporadas en el análisis multivariado.

La diferenciación de los tres grupos sedimentarios también puede ser interpretada a la luz de los cambios climáticos globales del Mioceno tardío. Menéndez *et al.* (2017) documentaron para el Mioceno medio (~14 Ma) un evento de enfriamiento global (Middle Miocene Global Cooling Event, MMGC) que provocó un incremento de la aridez y la estacionalidad, con condiciones de sabana seca y transiciones a desierto. Aunque su estudio se enfoca en la región mediterránea, la tendencia hacia condiciones más áridas y estacionales durante el Mioceno tardío es un fenómeno global que también afectó al Pacífico oriental y al Golfo de California. En este contexto, la secuencia de San Felipe (~6.1 Ma) podría reflejar oscilaciones climáticas de alta frecuencia (probablemente asociadas a ciclos orbitales de Milankovitch) que alternaron entre periodos más cálidos y húmedos (hábitat II, mayor productividad) y periodos más fríos y secos (hábitat III, menor productividad). Contreras *et al.* (2005) mostraron que los sedimentos de la Cuenca de Laguna Salada, en el norte de Baja California, registran los ciclos de Milankovitch, y que estos pueden ser utilizados para calibrar edades y calcular tasas de sedimentación (~1.6 mm/año). Esta evidencia respalda la hipótesis de que los cambios en la

productividad de *Azpeitia elmorenii* (reflejados en la abundancia, biomasa y energía) y las variables físicas y químicas del sedimento (como la materia orgánica, el carbono orgánico y los nutrientes) estuvieron modulados por forzamientos orbitales que afectaron la intensidad de las surgencias, la temperatura del agua y la disponibilidad de silicio, determinando así la agrupación de los seis niveles en tres hábitats distintos.

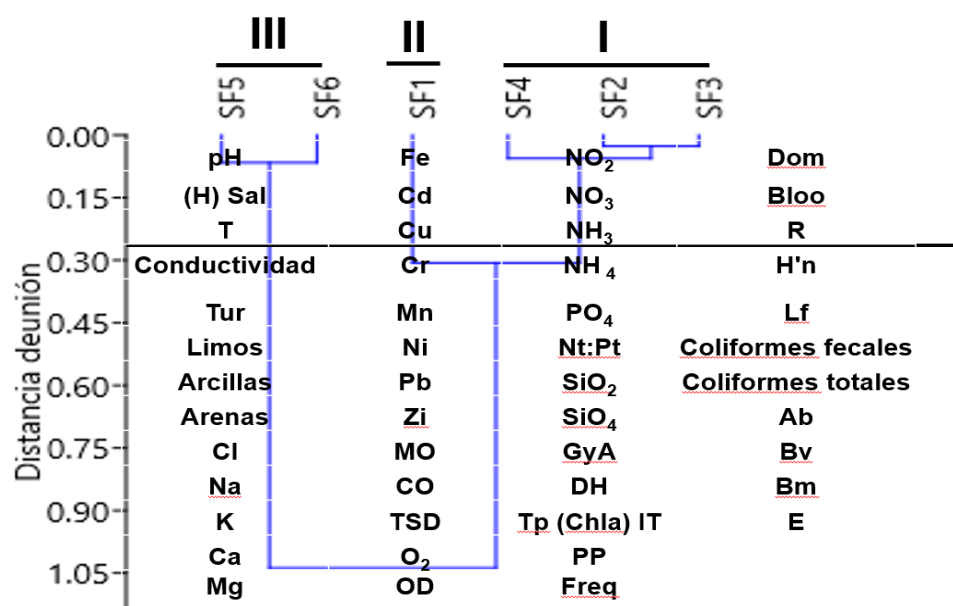


Figura 7. Dendrograma de similaridad de 6 niveles (SF1-SF6) de muestreo en la diatomita de San Felipe, considerando 50 variables físicas, químicas y biológicas (pH-energía) en la composición ecológica de *Azpeitia elmorenii*. La flecha muestra la estructuración de tres hábitats (I-III).

El presente estudio permitió generar un panorama integral sobre la biología de *Azpeitia elmorenii*, abordando de manera conjunta su morfología, abundancia, biovolumen, biomasa y contenido energético en la diatomita de San Felipe, Baja California. Dado que esta especie contaba únicamente con un antecedente de carácter taxonómico, la estimación de estos parámetros representa una aportación al vacío de conocimiento presente para esta especie, y nos deja dimensionar su papel ecológico dentro del paleoecosistema marino en el que se desarrolló. Conocer la abundancia, el biovolumen, la biomasa y la energía de una especie fósil no sólo aporta datos específicos sobre su ecología, sino que permite reconstruir su función dentro de la red trófica en la que participaba y su contribución a la productividad primaria de su entorno. En el caso de *Azpeitia elmorenii*, estimar estas variables nos permitió entender su relevancia como productor primario y como posible sustento energético de niveles tróficos superiores, incluyendo al zooplancton, la ictiofauna y los grandes vertebrados marinos que coexistieron con ella durante el Mioceno.

tardío. De esta manera, el estudio complementa a los registros paleontológicos descriptivos para otorgar una perspectiva paleoecología y energética, que resulta única en la literatura relacionada con *Azpeitia elmorenii*. Asimismo, la variación observada entre los distintos niveles de la secuencia sedimentaria permitió vincular la biología y ecología de la especie con las condiciones paleoambientales del Golfo de California, sugiriendo una respuesta de *Azpeitia elmorenii* a procesos oceanográficos como las surgencias costeras y las fluctuaciones climáticas propias del Mioceno tardío. Esto reafirma el valor de las diatomeas como herramientas indirectas para reconstruir ambientes marinos pretéritos, y resalta la importancia de integrar variables biológicas cuantitativas y no solo taxonómicas en el estudio de microfósiles.

Recomendaciones

Al manejar los sedimentos, es obligatorio el uso de guantes de látex o nitrilo, no porque el mismo sedimento sea dañino para nuestra piel, si no para evitar perder la menor cantidad de material diatomáceo posible, cualquier cantidad de material sobrante utilizado durante el proceso, se recomienda que se guarde en bolsas de plástico bien selladas y rotuladas.

Al empezar el proceso de asentamiento sobre cubreobjetos, se encontraron problemas durante el vertimiento del agua con sedimento. Dado que, al verse, los cubreobjetos y portaobjetos tienden a moverse. Sin embargo, para resolver esta problemática, se recomienda usar TAK de marca pritt, ya que este material permite adherir los cubre objetos con los portaobjetos al fondo del recipiente, y se despegan fácilmente después de que el proceso de sedimentación haya terminado.

Posterior al primer secado, ya sobre los cubreobjetos, cuando se aplique la resina Naphrax, utilizar, guantes, cubrebocas y bata, dado que la composición de la resina puede ser irritante para la piel, al igual los gases que despiden son tóxicos para nosotros. Por último, al visualizar las muestras en microscopio, es muy importante la revisión del equipo antes de utilizarlo. Se debe tener considerada su limpieza, calibración, y utilización.

Visto Bueno

Título del informe final: Abundancia, biovolumen, biomasa y energía de *Azpeitia elmorenii* en la diatomita de San Felipe, Baja California.



Dr. José Luis Moreno Ruiz

(No. Eco. 21348)

Depto. El Hombre y su Ambiente

UAM Xochimilco

Bibliografía

- Abrantes, F. (2000). 200,000 yr diatom records from Atlantic upwelling sites reveal maximum productivity during LGM and a shift in phytoplankton community structure at 185,000 yr. *Earth and Planetary Science Letters*, 176(1), 7-16.
- Cione, A. L., Cozzuol, M. A., Dozo, M. T., & Acosta-Hospitaleche, C. (2011). Marine vertebrate assemblages in the southwest Atlantic during the Miocene. *Biological Journal of the Linnean Society*, 103(2), 423–440.
- Collareta, A., Lambert, O., Landini, W., Di Celma, C., Malinverno, E., Varas-Malca, R., Urbina, M., & Bianucci, G. (2017). Did the giant extinct shark *Carcharocles megalodon* target small prey? Bite marks on marine mammal remains from the late Miocene of Peru. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 469, 84–91.
- Cornet-Barthaux, V., Armand, L., & Quéguiner, B. (2007). Biovolume and biomass estimates of key diatoms in the Southern Ocean. *Aquatic Microbial Ecology*, 48, 295–308.
- Contreras, J., Martín-Barajas, A., & Carreño, A. L. (2005). Milankovitch cyclicity in the stratigraphy of the Laguna Salada basin, Baja California, Mexico: Implications for sedimentation and subsidence rates. *Geophysical Research Abstracts*, 7, 10917.
- Cummins, K. W., & Wuycheck, J. C. (1971). Caloric equivalents for investigations in ecological energetics. *Mitteilungen der Internationalen Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie*, 18, 1-158.
- De la Lanza-Espino, G. (1991). *Oceanografía de mares mexicanos* (1ra ed.). México. D. F: AGT Editor, S. A.
- Eppley, R. W. (1970). Relationships of phytoplankton species distribution to the depth distribution of nitrate. En: J. D. H. Strickland (Ed.) *The ecology of the plankton off La Jolla, California, in the period April through September, 1967*. *Bulletin of the Scripps Institution of Oceanography*, 17, 43-50.
- Fierstine, H. L., Applegate, S. P., González-Barba, G., Schwennicke, T., & Espinosa-Arrubarrena, L. (2001). A Fossil Blue Marlin (*Makaira nigricans*

Lacépède) from the Middle Facies of the Trinidad Formation (Upper Miocene to Upper Pliocene), San José del Cabo Basin, Baja California Sur, México. *Bulletin of the Southern California Academy of Sciences*, 100(2), 59–73.

- Hillebrand, H., Dürselen, C. D., Kirschtel, D., Pollingher, U., & Zohary, T. (1999). Biovolume calculation for pelagic and benthic microalgae. *Journal of Phycology*, 35(2), 403–424.

- Hammer, Ø., Harper, D. A. T., & Ryan, P. D. (2025). *Reference manual: PAST (PAleontological Statistics) version 5*. [online] Norway: University of Oslo, Natural History Museum.

- Krapp, M., & Jungclaus, J. H. (2011). The Middle Miocene climate as modelled in an atmosphere-ocean-biosphere model. *Climate of the Past*, 7(4), 1169–1188.

- Kürschner, W. M., Kvaček, Z., & Dilcher, D. L. (2008). The impact of Miocene atmospheric carbon dioxide fluctuations on climate and the evolution of terrestrial ecosystems. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* (PNAS), 105(2), 449-453.

- Lara-Villa, M. A., Moreno-Ruiz, J. L., y Amaro Mauricio, E. J. (1996). Fitoplancton: conceptos básicos y técnicas de laboratorio. México: UAM Iztapalapa. 127-128.

- Lavín, M. F., & Marinone, S. G. (2003). An overview of the physical oceanography of the Gulf of California. *Journal of Coastal Research*, Special Issue, 173-204.

- Juillet-Leclerc, A., & Schrader, H. (1987). Variations of upwelling intensity recorded in varved sediment from the Gulf of California during the past 3,000 years. *Nature*, 329(6136), 146-149.

- Menéndez, I., Gómez-Cano, A. R., García-Yelo, B. A., Domingo, L., Domingo, M. S., Cantalapiedra, J. L., Blanco, F., & Hernández-Fernández, M. (2017). Body-size structure of Central Iberian mammal fauna reveals semidesertic conditions during the middle Miocene Global Cooling Event. *PLoS ONE*, 12(10), e0186762.

- Moreno-Ruiz, J. L., Santoyo, H., Vega-Murillo, W. (1994). A new species *Azpeitia elmorenii* sp. nov. from late Miocene sediments, Baja California,

México. *13th International Diatom Symposium, Bristol, England, International Society for Diatom Research*, 416-421.

- Moreno-Ruiz, J. L., & Carreño, A. L. (1994). Diatom biostratigraphy of Bahía Asunción, Baja California Sur, Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 11(2), 245–252.

- Moreno-Ruiz, J. L., Santoyo, H. (1996). *Diatomeas del Golfo de California*, México: Universidad Autónoma de Baja California, Baja California, 3-4.

- Moreno-Ruiz, J. L., Tapia-García, M., Licea, S., Figueroa-Torres, M. G., Esquivel, A., Herrera-Galindo, J. E., González-Fernández, J. M., & González-Macias, M. D. C. (2011). Ecological composition and distribution of the diatoms from the Laguna Superior, Oaxaca, México. *Journal of Environmental Biology*, 32, 425-442.

- Moreno-Ruiz, J. L. (2009). Composición, abundancia y distribución del fitoplancton del río Tehuantepec, el estero La ventosa y arroyo El Zanjón, Oaxaca. Tesis Doctoral. México: Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa. Ciudad de México.

- Platt, T., & Irwin, B. (1972). Caloric content of phytoplankton. *Limnology and Oceanography*, 17(2), 306–310.

- Sims, P. A., Fryxell, G. A., & Baldauf, J. G. (1989). Critical examination of the diatom genus *Azpeitia*: species useful as stratigraphic markers for the Oligocene and Miocene epochs. *Micropaleontology*, 35(4), 293-307.

- Shiono, M., & Koizumi, I. (2002). Taxonomy of *Azpeitia endoi* and *A. tabularis* (Bacillariophyta) in middle Miocene to Recent materials from the North and Northwest Pacific Ocean. *Micropaleontology*, 48(1), 67-78.

- Snoeijs, P., Busse, S., & Potapova, M. (2002). The importance of diatom cell size in community analysis. *Journal of Phycology*, 38(2), 265-272.

- Wu, R., Gao, Y., Chen, C., & Chen, D. (2019). Morphology and distribution of the marine diatom *Azpeitia africana* (Janisch ex A. Schmidt) G. Fryxell & T. P. Watkins in the South China Sea. *Journal of Oceanology and Limnology*, 37(1).102-111.