

# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

## **Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra**

Uso de Radiolarios como indicadores de fluctuaciones cálidas y frías del Océano Pacífico Ecuatorial Oriental durante el Holoceno

### **PROYECTO INTEGRADOR**

Previo a la obtención del Título de:

#### **Ingeniero en Geología**

Presentado por:

Allen Ivanna Cárdenas Cruz

Diana Carolina Vacacela de la A

Guayaquil – Ecuador

2022-2023

## DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico a Dios, por permitirme cumplir una meta más para alcanzar mi objetivo, a mis padres Wendy Cruz e Iván Cárdenas pilares fundamentales de mi convicción académica; a mis hermanos Álvaro , Ian y María Grazzia por el apoyo brindado; a mi abuelita Betty Villegas que ha sido mi guía desde pequeña; a mi novio Gonzalo Gutiérrez quien con su amor y paciencia ha sabido entender y acompañarme en este proceso; a los hijos que Dios me regalara algún día; y finalmente a mí, por nunca renunciar, por confiar en mí, por no tener días libres, por el simple hecho de querer realizar cada paso que me llevara cumplir con mis sueños.

Allen Cárdenas.

## DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico en primer lugar a Dios, porque nunca soltó mi mano y siempre escuchó cada una de mis oraciones, a mis padres Raúl y Soraya, por brindarme su apoyo y estar presente en cada paso que doy, sus oraciones han guiado mis pasos por el camino del bien, a mis hermanas Soraya y Josseline, por ser mi aliento cuando todo se tornaba difícil, a Paulo, por motivarme siempre a ser mejor cada día, a confiar en mí y creer que puedo lograr todo lo que me propongo. A mis tíos Felio y Yecenia, por recibirme con mucho amor en su hogar y siempre me hicieron sentir como en casa, y a mis primos Daniel y Daniela, por no dejarme sola cuando tuve una emergencia y siempre me auxiliaron.

Diana Vacacela


## **AGRADECIMENTOS**

Mis más sinceros agradecimientos a Dios por todo lo que se ha logrado, a nuestros tutores Nelson Jiménez, Mishelle Muthre, Carlos Martillo y Franklin Ormaza que han sabido guiarnos, aconsejarnos y experimentar el amor a la Paleontología-Oceanografía que Dios les multiplique en bendiciones por su gran labor; a nuestros docentes Peter Olaya, Maurixio Mulas, Erwin Larreta, Paúl Carrión y Eddy Sanclemente que han sido personas claves para nuestro desarrollo profesional, a las instituciones como la FICT-ESPOL, GEMAC, IRD, CIPAT por brindarnos un cuerpo docente importante para nuestra formación. A nuestros amigos y compañeros que han sido parte de una bonita experiencia universitaria.

Allen Cárdenas y Diana Vacela.

## DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Allen Ivanna Cárdenas Cruz* y *Diana Carolina Vacacela de la A* damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"



---

Allen Ivanna Cárdenas Cruz



---

Diana Carolina Vacacela de la A

# EVALUADORES



Firmado electrónicamente por:

**KEILA  
MISHELLE  
MUTHRE FREIRE**

---

**Keila Mishelle Mutre Freire**

PROFESORA DE LA MATERIA  
PROFESOR TUTOR

NELSON  
MESIAS  
JIMENEZ  
ORELLANA

Firmado  
digitalmente por  
NELSON MESIAS  
JIMENEZ ORELLANA  
Fecha: 2023.02.17  
15:10:26 -05'00'

---

**Nelson Mesías Jiménez Orellana**

PROFESOR TUTOR



Firmado electrónicamente por:

**CARLOS EDUARDO  
MARTILLO  
BUSTAMANTE**

---

**Carlos Eduardo Martillo Bustamante**

PROFESOR TUTOR



Firmado electrónicamente por:  
**FRANKLIN ISAAC  
ORMAZA GONZALEZ**

---

**Franklin Issac Ormaza Gonzalez**

PROFESOR TUTOR

## RESUMEN

El estudio del Pacífico Ecuatorial Oriental mediante radiolarios genera un aporte a los sectores productivos pesquería, agricultura, turismo y académico. Las fases de 'El Niño-Oscilación del Sur' han provocado alteraciones en las condiciones oceanográficas físicas, químicas y biológicas; influenciando el cambio climático y la redistribución de las poblaciones faunísticas. El presente proyecto tiene como objetivo determinar los cambios paleoambientales y su relación entre las variaciones de las asociaciones de radiolarios del Océano Pacífico entre 0°20'S y 1°30'N, mediante el análisis de sedimentos silíceos obtenidos en la campaña científica- oceanográfica ATACAMES del 2012. La preparación de radiolarios se realizó mediante el método estándar de tamizado #325 ASTM E11. La selección e identificación de radiolarios generó una base de datos de 6915 individuos y 215 especies, de los cuales, 14 especies son de mayor abundancia relativa y 9 especies reconocidas como "no reportadas". La aplicación de los índices estadísticos multivariados: Surgencia de Radiolarios, Similitud de Jaccard, Temperatura de radiolarios, Diversidad de Shannon-Wiener, Test Ratio e Indicadores de productividad geoquímica (Ca, Ba, Br, Ti, Si y Al) determinaron dos asociaciones de radiolarios y tres patrones de eventos cálidos. Un evento cálido de alta intensidad al Sur del Ecuador representado por la especie *Collosphaera sp1* de condiciones oligotróficas y temperaturas >20°C. Dos eventos cálidos de media a baja intensidad al Norte dominados por la especie *Stylodictya valdispina* de condiciones cosmopolitas y latitudes bajas. La zona norte presenta el mayor suministro de sedimentos pelágicos a la fosa oceánica por la influencia del Cañón de Esmeraldas.

**Palabras clave:** "El Niño-Oscilación del Sur", fosa ecuatoriana, Holoceno, Núcleos sedimentarios, Océano Pacífico, Oscilación Decadal del Pacífico, Radiolarios.

## ABSTRACT

*The study of the Eastern Equatorial Pacific through radiolaria generates a contribution to the productive fishing, agriculture, tourism and academic sectors. The phases of 'El Niño-Southern Oscillation' have caused alterations in the physical, chemical and biological oceanographic conditions, influencing climate change and the redistribution of faunal populations. The objective of this project is to determine the paleoenvironmental changes and their relationship between the variations of the radiolarian associations of the Pacific Ocean between 0°20'S and 1°30'N, through the analysis of siliceous sediments obtained in the scientific-oceanographic campaign ATACAMES of the 2012. The preparation of radiolaria was carried out using the standard method of sieving #325 ASTM E11. The selection and identification of radiolarians generated a database of 6915 individuals and 215 species, of which 14 species are of greater relative abundance and 9 species recognized as "not reported". The application of the multivariate statistical indices: Radiolarian Emergence, Jaccard Similarity, Radiolarian Temperature, Shannon-Wiener Diversity, Test Ratio and Geochemical Productivity Indicators (Ca, Ba, Br, Ti, Si and Al) determined two associations of radiolarians and three patterns of warm events. A high-intensity warm event south of the equator represented by the species *Collosphaera* sp1 with oligotrophic conditions and temperatures >20°C. Two warm events of medium to low intensity to the North dominated by the species *Stylodictya valdispina* of cosmopolitan conditions and low latitudes. The northern zone presents the largest supply of pelagic sediments to the oceanic trench due to the influence of the Esmeraldas Canyon.*

**Keywords:** *"El Niño-Southern Oscillation", Ecuadorian trench, Holocene, Pacific Ocean, Pacific Decadal Oscillation, Radiolarian, Sedimentary cores,*



# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ABSTRACT .....	II
ÍNDICE .....	III
ABREVIATURAS.....	V
SIMBOLOGÍA.....	V
ÍNDICE DE FIGURAS .....	VI
ÍNDICE DE TABLAS.....	VII
CAPÍTULO 1.....	1
1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 Descripción del problema .....	1
1.2 Justificación del problema .....	3
1.3 Objetivos .....	3
1.3.1 Objetivo General.....	3
1.3.2 Objetivos Específicos .....	3
1.4 Marco teórico.....	4
1.4.1 Área de estudio .....	4
1.4.2 Geología Estructural.....	5
1.4.3 Tectónica Local .....	6
1.4.4 Oceanografía.....	6
1.4.5 Paleobiogeografía .....	9
1.4.6 Producción Biológica.....	10
1.4.7 Radiolarios .....	11
CAPÍTULO 2.....	12
2. DATOS Y MÉTODOS .....	12
2.1 Fase I: Búsqueda e inventario de Radiolarios relacionados al ENSO .....	13
2.2 Fase II: Preparación y clasificación de las muestras de los núcleos .....	15

2.2.1 Preparación de muestras .....	15
2.2.2 Identificación de Radiolarios.....	19
2.3 Fase III: Análisis e Interpretación bioestratigrafía y paleogeográfica. ....	21
2.3.1 Índice de similitud de Jaccard's (Jaccard's index of similarity) .....	21
2.3.2 Indicadores de productividad geoquímica: Ca, Ba, Br, Si/Ti y Si/Al .....	22
2.3.3 Índice de surgencia de Radiolarios (Upwelling Radiolarian Index - URI).....	23
2.3.4 Índice de diversidad de Shannon-Wiener.....	23
2.3.5 Índice de Temperatura de Radiolarios (RTI) .....	24
2.3.6 Test Ratio (Taxon Ratio) .....	24
2.3.7 Correlación .....	25
2.3.8 Determinación de Asociaciones de Radiolarios .....	25
CAPÍTULO 3.....	26
3. RESULTADOS.....	26
3.1 Identificación de especies de Radiolarios.....	26
3.2 Análisis de Fluorescencia de rayos X (XRF) .....	42
3.3 Índices de Similitud de Jaccard .....	45
3.4 Asociaciones de Radiolarios en función de los Índices Multivariados. ....	46
3.4.1 Núcleo KAT 21 .....	47
3.4.2 Núcleo KAT 22 .....	50
3.4.3 Núcleo KAT 23 .....	52
3.5 Distribución faunística en la fosa norte de Ecuador.....	54
CAPÍTULO 4.....	56
4. DISCUSIÓN .....	56
4.1 Correlación entre los índices multivariados.....	57
4.2 Asociaciones de Radiolarios .....	59
4.3 Análisis del núcleo KAT 22 con otros autores .....	60
CAPÍTULO 5.....	62

5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	62
5.1	Conclusiones.....	62
5.2	Recomendaciones.....	63
CAPÍTULO 6.....		65
6.	Referencias .....	65

## **ABREVIATURAS**

ENSO: El Niño - Oscilación Sur.

EUC: Corriente Subsuperficial Ecuatorial

HCS: Corriente de Humboldt

IOS: Índice de Oscilación del Sur

ITCZ: Zona de Convergencia InterTropical

NEC: Corriente Ecuatorial del Norte

NECC: Contracorriente Ecuatorial del Norte

SEC: Corriente Ecuatorial del Sur

TSM: Temperatura Superficial del Mar

TWT: Temperatura del Agua de Termoclina

XRF: Espectrómetros de Fluorescencia de Rayos X

## SIMBOLOGÍA

cm año <sup>-1</sup>	Centímetros por año
$\mu m$	Micrometros
mm	Milímetros
$\alpha$	Cypassis irregularis
$\beta$	Euchitonia elegans
$\pi$	Tetrapyle octacantha
$\mu$	Lamprocyclus maritatis
$\partial$	Phormostichoartus crustula
¥	Pterocanium auritum
%	Porcentaje
km	Kilometros
°C	Grados Celsius
Mg	Magnesio
Ca	Calcio
Br	Bromo
Si	Sílice
Ti	Titanio
S	Azufre
Sr	Estroncio
$X_w$	Especie de aguas cálidas
$X_c$	Especie de aguas frías
N	Norte
S	Sur
E	Este
W	Oeste

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.1</b> Mapa de ubicación del área de estudio (Fosa oceánica ecuatorial). Modif. (GEBCO, 2023; Google Earth, 2023). .....	5
<b>Figura 1.2</b> Corrientes marinas del Pacífico Ecuatorial Oriental (Gwendoline et al., 2021). .....	7
<b>Figura 1.3</b> Comportamiento de anomalías del evento del ENSO en el Pacífico Tropical (Bureau Meteorology, 2023). .....	9
<b>Figura 1.4</b> Cadenas trófica marina (Pew, 2013). .....	10
<b>Figura 1.5</b> Esqueleto de las clasificaciones del Orden de Radiolarios (Kochhann, 2015). .....	11
<b>Figura 2.1</b> Metodología implementada en el presente estudio. ....	13
<b>Figura 2.2</b> Funcionamiento del descorazonador 'Kullenberg' para la extracción de muestras sedimentarios (IRD, 2012). .....	14
<b>Figura 2.3</b> Materiales de laboratorio utilizados en la preparación de muestras (Método de levigado). .....	15
<b>Figura 2.4</b> Procedimiento para el tratamiento de muestras (método de levigado) de los núcleos. ....	18
<b>Figura 2.5</b> Materiales de laboratorio utilizados en la identificación de los Radiolarios. ..	19
<b>Figura 2.6</b> Radiolarios Recientes: a) Placa de las especies de Radiolarios, b) Clasificación de Radiolarios representativos en aguas cálidas y aguas frías. (Dolven, 2021) .....	20
<b>Figura 3.1</b> Radiolarios identificados y reportados. a) <i>Spongopyle osculosa</i> , b) <i>Collosphaera</i> sp1, c) <i>Dictyocoryne profunda.</i> , d) <i>Hymeniastrum euclidis.</i> , e) <i>Stylodycta valdispina.</i> , f) <i>Dictyocoryne trucantum</i> , g) <i>Cenosphaera cristata</i> , h) <i>Spongurus cylindricus.</i> , i) <i>Euchitonia elegans</i> , j) <i>Euchitonia</i> sp. ....	27
<b>Figura 3.2</b> Radiolarios identificados y reportados. k) <i>Carposphaera melitomma</i> , l) <i>Spirotunica spiralis</i> , m) <i>Schizodiscus japonicus</i> , n) <i>Spongodiscus resurgens</i> .....	28
<b>Figura 3.3</b> Abundancia relativa del núcleo KAT 21. ....	35
<b>Figura 3.4</b> Abundancia relativa del núcleo KAT 22. ....	36
<b>Figura 3.5</b> Abundancia relativa del núcleo KAT 23. ....	37

<b>Figura 3.6</b> Especies nuevas de Radiolarios identificados y no reportados. a) Euchitonia sp3., b) Spongurus sp3., c) Spongurus sp4., d) Schizodicus sp1., e) Euchitonia spp2, f) Spongurus sp1., g) Euchitonia spp1., h) Spongurus spp2., i) Spongodiscus sp1.....	38
<b>Figura 3.7</b> Gráfica de los elementos geoquímicos.....	43
<b>Figura 3.8</b> Gráfica de la relación de los elementos geoquímicos.....	45
<b>Figura 3.9</b> Gráfica de la relación del índice de similitud de Jaccard's entre los núcleos sedimentarios. ....	46
<b>Figura 3.10</b> Columna granulométrica e índices estadísticos multivariados del KAT 21. ....	49
<b>Figura 3.11</b> Columna granulométrica e índices estadísticos multivariados del KAT 22. ....	51
<b>Figura 3.12</b> Columna granulométrica e índices estadísticos multivariados del KAT 23. ....	53
<b>Figura 4.1</b> Correlación entre el índice Multivariado.....	57
<b>Figura 4.2</b> Correlación de las especies de Radiolarios indicadoras de temperatura ....	59
<b>Figura 4.3</b> Interpretación del comportamiento de las curvas eustáticas, termoclina, temperatura global y Mounder con el núcleo KAT 22. (Jakobsson et al., 2017; Rosenthal et al., 2013).....	60

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.1</b> Efectos de las anomalías negativas y positivas del evento climático de “El Niño – Oscilación del Sur” (ENSO) (Miller & Vokes, 1998; Sánchez et al., 2022). .....	1
<b>Tabla 2.1</b> Ubicación y dimensiones de los núcleos sedimentarios (IRD, 2012). .....	14
<b>Tabla 2.2</b> Muestreo de los sedimentos marinos estudiados de la fosa ecuatoriana. ....	17
<b>Tabla 2.3</b> Significado de las abreviaturas en la nomenclatura de un taxón. ....	21
<b>Tabla 2.4</b> Aplicación de los elementos geoquímicos de la fosa Oceánica (Haschke, 2006). .....	22
<b>Tabla 3.1</b> Contenido fosilífero de las muestras estudiadas de los núcleos. ....	26
<b>Tabla 3.2</b> Lista de especies reportadas de aguas frías y cálida. ....	47
<b>Tabla 3.3</b> Índices estadísticos multivariados del KAT 21. ....	50
<b>Tabla 3.4</b> Índices estadísticos multivariados del KAT 22. ....	52
<b>Tabla 3.5</b> Índices estadísticos multivariados del KAT 23. ....	54



# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Descripción del problema

El Océano Pacífico es la cuenca oceanográfica rica en nutrientes más grande (Hernández et al., 2020), constituye un régimen oceánico clave en el sistema climático de la Tierra (Winckler et al., 2016). Los fenómenos climáticos tienen como principal escenario el Océano Pacífico (Pabón, 2003), debido a los efectos en la circulación atmosférica y oceanográfica.

El Niño-Oscilación del Sur (ENSO) (Ormaza-González & Cedeño Jhontahn, 2017) es un proceso interanual meteorológico-oceanográfico, de alta frecuencia aperiódico (2-5 años) (Ramírez & Briones, 2017) que se desarrolla en el Océano Pacífico Ecuatorial entre los 130E - 80W, 5N-5S, o 10N-10S (Ormaza et al., 2016). Se manifiesta en dos fases: “El Niño” a través del calentamiento de la Temperatura Superficial del Mar y “La Niña” a través del enfriamiento de la Temperatura Superficial del Mar (Dong, 2005), alterando las condiciones oceanográficas. Los factores principales que describen el comportamiento de las fases del ENSO, traen consigo fuertes afectaciones a nivel marino y terrestre como se muestra en la Tabla 1.1

**Tabla 1.1** Efectos de las anomalías negativas y positivas del evento climático de “El Niño – Oscilación del Sur” (ENSO) (Miller & Vokes, 1998; Sánchez et al., 2022).

Factores \ Fases ENSO	“La Niña”	“El Niño”
TSM	Elevación de la termoclina y fortalecimiento de la surgencia.	Hundimiento de la termoclina y reducción de la surgencia.
IOS	Aumento de la presión atmosférica superficial.	Descenso de la presión atmosférica superficial.
Meteorológicos	Fuertes sequías	Severas precipitaciones.
Geoquímicos	Aumento de Si, P, Ca.	Disminución de Si, P, Ca.
Biológicos	Incremento de Biomasa y presencia de especies de peces a aguas frías (<20°C) como pez espada.	Incremento de especies de peces de aguas cálidas (>28°C) como el pez dorado.
Paleontológicos	Incremento de Radiolarios.	Disminución de Radiolarios.

 Anomalía Positiva       Anomalía Negativa  
TSM (Temperatura Superficial del Mar); IOS (Índice de la Oscilación del Sur)

El fenómeno de el Niño-Oscilación del Sur (ENSO) genera la surgencia de aguas frías y nutrientes en el Océano Pacífico (Winckler et al., 2016), aportando a la productividad biológica, debido a la divergencia impulsada por corrientes subsuperficiales (Pisias & Mix, 1997) que interactúan con la morfología costera y el talud superior de diferentes maneras en cada región de afloramiento (Molina, 2021).

Las corrientes oceanográficas (Superficial y Subsuperficial) dominan al Pacífico Ecuatorial Oriental (Portela et al., 2016) protagonizando diversas anomalías climáticas. La corriente de Humboldt (Haslett, 2003) es la principal corriente superficial fría que favorece a la vida marina. Sin embargo, es influenciada por la corriente de Cromwell (EUC) (Leme et al., 2003) debilitando los vientos alisios y aumentando la temperatura del mar desarrollando el Fenómeno de El Niño-Oscilación del Sur.

La interacción entre las corrientes presentes en el origen del ENSO provocan el suministro alto y bajo de nutrientes (Molina, 1984) debido al transporte de microorganismos en condiciones de temperatura y salinidad (Leme et al., 2003) favorables para el desarrollo de la vida. Los microorganismos de sílice biogénico (Hernández et al., 2020) de los sedimentos del Océano Pacífico evidencian patrones climáticos claves para el estudio de fenómenos naturales.

Los microorganismos denominados Radiolarios son microzooplancton silíceos (Wever et al., 1995) esenciales para determinar las condiciones oceanográficas (Nigrini, 1970) y climáticas (Barron, 1992). Los Radiolarios han estado presentes desde el Precámbrico (Hace 3960 millones a 540 millones de años) hasta la actualidad (Kamikuri et al., 2009) y son muy abundantes en zonas ecuatoriales (De Wever et al., 1995) debido a su resistencia a la oxidación (Kamikuri et al., 2007).

El análisis bioestratigráfico de Radiolarios permite conocer la influencia antropogénica que altera los ecosistemas marinos (Kling & Boltovskoy, 1995) debido a la perturbación global del ciclo del carbono (Yanchenko & Gorbarenko, 2015). Entre las aplicaciones derivadas del estudio de Radiolarios es mejorar las habilidades de manejo de recursos vivos, comprendiendo las condiciones paleoceanográficas/climáticas (Kamikuri & Moore, 2017), los cuales influyen fuertemente en el desarrollo económico de las actividades pesqueras (Kucera, 2009).

El presente proyecto integrador permite realizar la siguiente pregunta ¿Es posible determinar la periodicidad interdecadal de los fenómenos climáticos que afectan las costas Ecuatorianas cerca de la fosa del Pacífico Ecuatorial Oriental en base al estudio de Radiolarios?; el objetivo del proyecto es la determinación de la respuesta de los Radiolarios a los cambios paleoambientales, la relación entre las variaciones de las asociaciones de Radiolarios y los datos geoquímicos de los testigos sedimentarios de 3 núcleos (KAT21, KAT23, KAT23).

## **1.2 Justificación del problema**

Las eventos cálidos y fríos de El Niño-Oscilación del Sur, alteran las condiciones oceanográficas físicas (temperatura vertical y horizontal, profundidad de la capa de mezcla), químicas (nutrientes), biológicas (productividad primaria y secundaria), lo que provocan la redistribución de los recursos pesqueros y un impacto en los procesos de reproducción, tasas de crecimiento y supervivencia, etc. (Ormaza-González et al., 2016). Según la NOAA, el Pacífico Oriental está ante el advenimiento de un evento El Niño que se está desarrollando en el Pacífico Central. Las consecuencias observadas del El Niño han conllevado a una redistribución de las poblaciones faunísticas que hagan más o menos disponibles los recursos pesqueros. Reconstruir los patrones de circulación en términos de intensidad y frecuencia a partir del contenido microfósilífero (Radiolarios) registrados durante los últimos 7000 años permitirá estimar la periodicidad interdecadal y sus consecuencias, a fin de preparar a los sectores pesqueros productivos.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo General**

Determinar la respuesta de los Radiolarios a los cambios paleoambientales y la relación entre las variaciones de las asociaciones de Radiolarios del Holoceno en los testigos sedimentarios KAT21, KAT23, KAT23 de la Campaña Geofísica y de Perforación Oceánica Atacames 2012 el norte de la fosa oceánica en el Océano Pacífico ecuatorial oriental.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Caracterizar la biodiversidad y el contenido taxonómico y biogeográfico de los Radiolarios (Polycistina) mediante el análisis de muestras de sedimentos pelágicos de la fosa oceánica ecuatoriana.

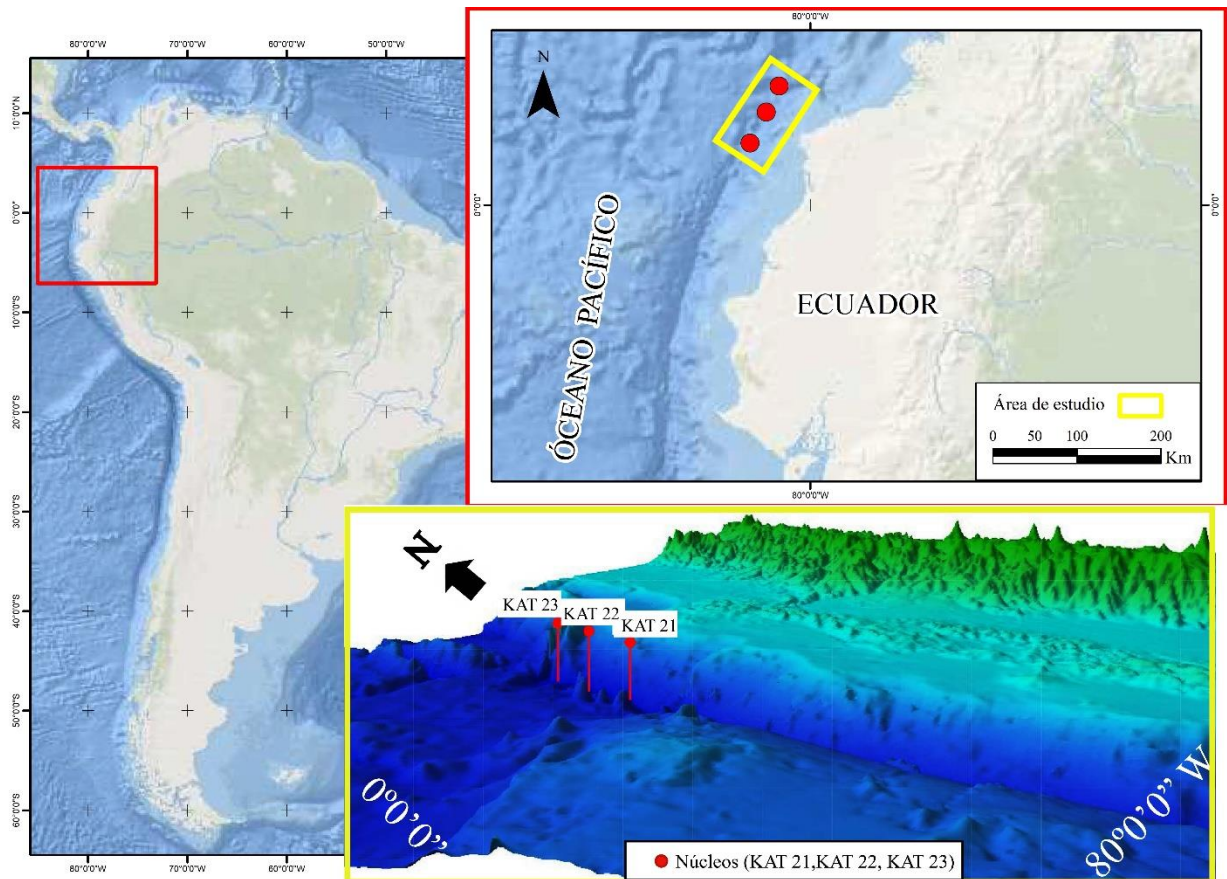
- Identificar índices paleoceanográficos: las especies indicativas de condiciones más cálidas y las especies indicativas de condiciones más frías.
- Determinar el cambio en la abundancia relativa de Radiolarios y el contenido de sílice en KAT21, KAT22, KAT23 y su correlación con los eventos de enfriamiento o calentamiento de las aguas superficiales tropicales.

## **1.4 Marco teórico**

### **1.4.1 Área de estudio**

El área de estudio se sitúa en el Océano Pacífico Tropical Oriental, específicamente fuera del margen continental del Ecuador ( $0^{\circ}20'S-1^{\circ}30'N$ ) cerca de la trinchera, entre la meseta oceánica de Carnegie Ridge (inferior a 2800 m) (Michaud et al., 2009) y la plataforma continental ecuatoriana (figura 1.1). Esta región está dominada por giros subtropicales del Pacífico Norte y Sur, y sistemas de corrientes ecuatoriales del Pacífico (Kamikuri & Moore, 2017; Kessler, 2006), posee información sobre la variabilidad y modulación climática (Cane, 1998; Fiedler & Talley, 2006), debido al registro de sedimentos terrígenos provenientes principalmente del transporte de los ríos (Collot et al., 2009) de la plataforma continental.

Los núcleos sedimentarios KAT21, KAT22, KAT23 usados en el presente proyecto están ubicados en las partes más productiva del área de estudio, proporcionando información oceanográfica, paleontológica y geoquímica; importante para evidenciar el registro del cambio climático global (Rabinowitz et al., 1991) y la productividad de materia orgánica (sedimentos pelágicos) (Kemp & Baldauf, 1993).



**Figura 1.1** Mapa de ubicación del área de estudio (Fosa oceánica ecuatorial). Modif. (GEBCO, 2023; Google Earth, 2023).

#### 1.4.2 Geología Estructural

La fosa oceánica ecuatorial posee registros descendentes de fluctuaciones y variaciones del contenido de carbonato de calcio, que evidencian cambios glaciales e interglaciares (Shackleton & Opdyke, 1973). Estos datos sedimentarios sirven como base estratigráfica (Arrhenius, 1953) para correlacionar los núcleos KAT21, KAT22, KAT23, y a su vez identificar a que profundidad de los núcleos se ha experimentado una disolución mínima de carbonato, conjunto con el registro de isótopos de oxígeno (Thompson & Saito, 1974).

El área en la que se sitúan los núcleos KAT21, KAT22, KAT23 está definido por estructuras inducidas por fallas tensionales (Michaud et al., 2009), debido a los deslizamientos rotacionales (slumps) que deforman los sedimentos (Collot et al., 2002). Los registros sedimentarios evidenciados son: sedimentos calcáreos, silíceos biogénicos, y silíceo-clásticos (Michaud et al., 2009). La distribución de sedimentos está controlada por su interacción con la circulación termohalina (Loveless et al., 2010).

### **1.4.3 Tectónica Local**

El borde occidental de América del Sur es el resultado de la subducción de la placa de Nazca debajo de la placa Sudamericana (Bilek, 2010), este evento ocurre desde el Paleozoico y ha evolucionado durante el Cenozoico (Kukowski & Bangs, 2010). El movimiento convergente que realizan estas placas a lo largo de la fosa que se desplaza paralela a las costas de Chile, Perú y Ecuador a una distancia de 30-80 *km* y una velocidad de 5.5-5.8  $\text{cm año}^{-1}$ , provoca movimientos sísmicos y volcanismo (Loveless et al., 2010)

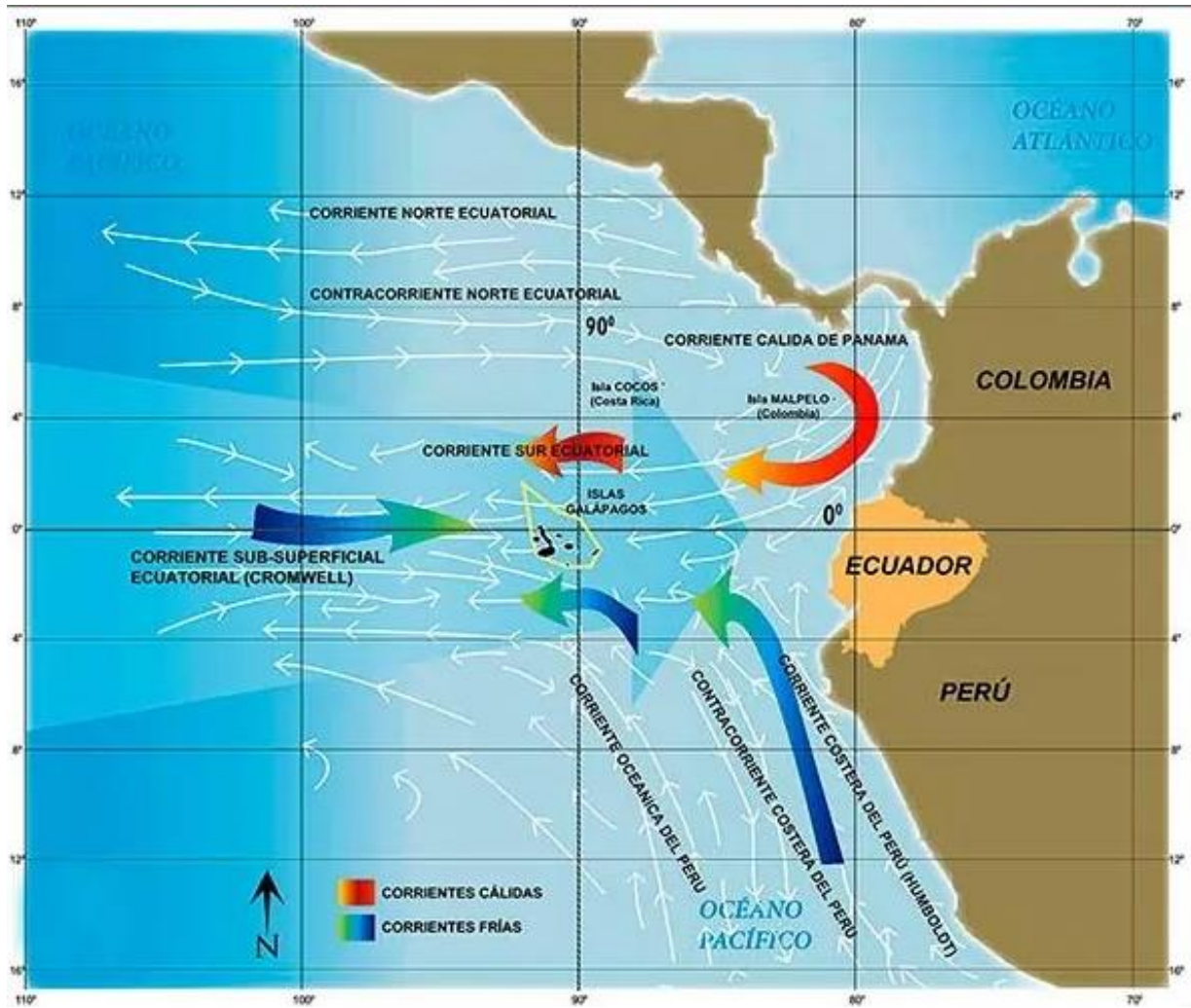
A nivel mundial, el Pacífico posee la mayor actividad sísmica, esto se debe a que el movimiento de las placas mencionadas causa erupciones volcánicas, terremotos y tsunamis, por lo que el océano se denomina 'Anillo de Fuego del Pacífico' (Vincent, 1998). El proceso de subducción generó variaciones geomorfológicas y tectónicas, dando como resultados terrenos oceánicos acrecionados en Ecuador y Colombia, formado por basaltos toleíticos pertenecientes al Cretácico y lavas andesíticas; y en la pared exterior de la fosa oceánica se encontraron sedimentos pelágicos calcáreos y silíceos, separados por fallas normales (Loveless et al., 2010).

### **1.4.4 Oceanografía**

#### ***1.4.4.1 Circulación Oceánica Superficial.***

El flujo de las corrientes superficiales es complejo, varía dependiendo de los vientos alisios (noreste (NE) y sureste (SE)). Los vientos alisios impulsan las corrientes ecuatoriales superficiales norte y sur de baja latitud hacia el oeste (Kamikuri & Moore, 2017). La contracorriente ecuatorial separa a la corriente ecuatorial del sur de la corriente ecuatorial del norte, esta contracorriente fluye hacia el este y varía estacionalmente (Molina, 1977) como se observa en la figura 1.2.

La intensidad de flujo de las corrientes ecuatoriales norte y sur, y la contracorriente depende del cinturón de vientos alisios según la estación y el tipo de hemisferio (Romine & Moore, 1981). Sin embargo, la Corriente Ecuatorial del Sur no se encuentra en el rango de los vientos alisios más fuertes del SE y es más débil (Kamikuri et al., 2009), pero la circulación oceánica superior dominada por los vientos del Oeste directamente afecta la alta productividad asociada con la Corriente de Perú (Loveless et al., 2010).



**Figura 1.2** Corrientes marinas del Pacífico Ecuatorial Oriental (Gwendoline et al., 2021).

La Corriente Ecuatorial del Sur (SEC) fluye hacia el oeste en la superficie y se extiende desde 3°N a 10°S (Romine & Moore, 1981) condicionada por el desplazamiento estacional de la Zona de Convergencia Intertropical (ITCZ) (Torreblanca et al., 2014), mientras que la Corriente Ecuatorial del Norte (NEC) fluye hacia el oeste extendiéndose desde los 10° a 20°N. Por otro lado, las corrientes superficiales frías que ingresan al Pacífico ecuatorial oriental incluyen las corrientes de Perú y California, transportando agua de latitudes altas a lo largo de los límites del Pacífico Oriental, hasta que se fusionan con la SEC y la NEC.

#### **1.4.4.2 Circulación Oceánica Subsuperficial.**

La Corriente de Cromwell o Corriente Subsuperficial Ecuatorial (EUC) (Haslett, 1995) es importante para comprender el movimiento de las masas de agua relacionada con una surgencia (Calahorrano B. et al., 2008), fluye a lo largo del Ecuador continental de oeste

a este, localizada debajo del borde norte de la Corriente Ecuatorial del Sur (SEC), entre los 2°N y 2°S de latitud (Hernández et al., 2020). Se caracteriza por ser poco profunda en el Pacífico Oriental, con una elevación de 50 m de profundidad, y se involucra en la divergencia y el afloramiento inducidos por el viento (Kling & Boltovskoy, 1995).

El Pacífico Ecuatorial Oriental está dominado por grandes células de fitoplancton, especialmente diatomeas y dinoflagelados (Patarroyo & Martinez, 2021). El mínimo de oxígeno es una característica importante en la estructura del subsuelo de las masas de agua del Pacífico Ecuatorial (Hernández et al., 2020), puede relacionarse con la circulación de aguas empobrecidas en oxígeno, llegando alcanzar un espesor de 300 m a lo largo del Ecuador con gran contenido orgánico de los sedimentos, siendo la sección más delgada en del margen cercano a América central y del Sur (Romine & Moore, 1981).

#### **1.4.4.3 Patrones de circulación del fenómeno ENSO**

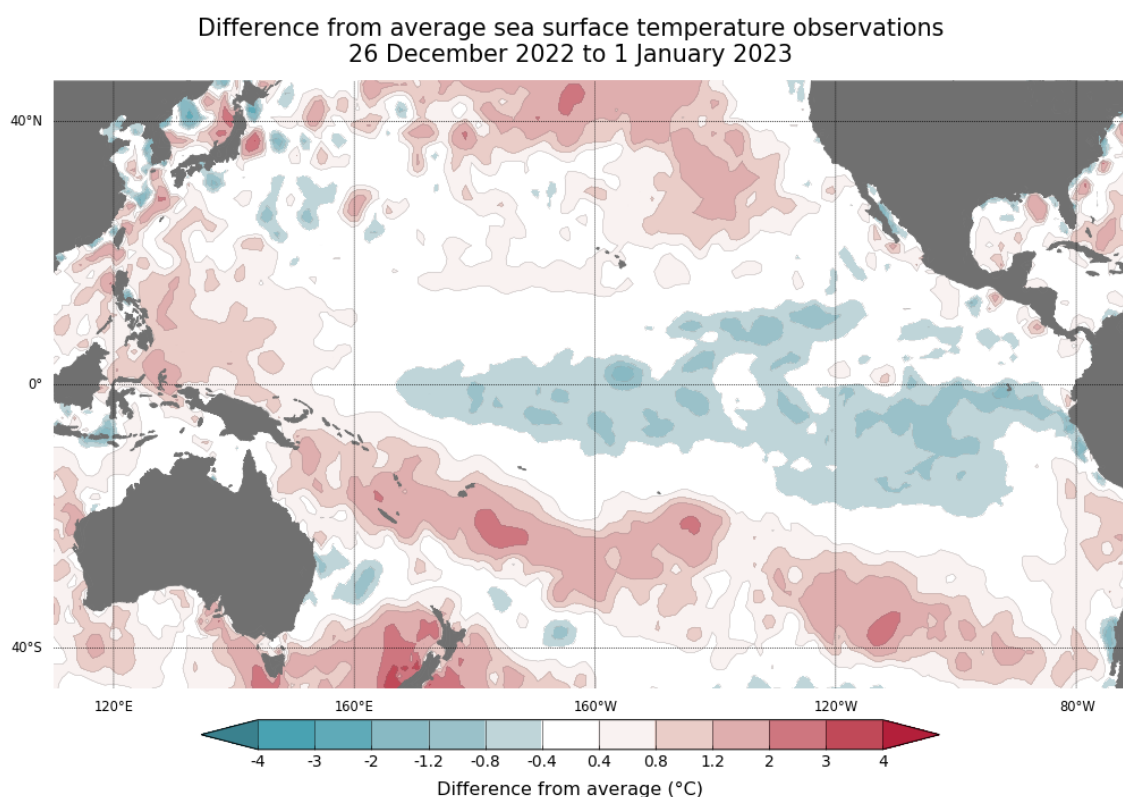
El Niño-Oscilación del Sur (ENSO) (Yang et al., 2018) es un fenómeno climático cíclico de afectación océano-atmosférica a gran escala (Hau et al., 2023) (figura 1.3). ENSO presenta dos fases positivas/negativas en la temperatura de la superficie del mar (TSM): a) el calentamiento de aguas tropicales del Océano Pacífico (El Niño) (Thiel et al., 2007) y b) el enfriamiento atípico de aguas tropicales del Océano Pacífico (La Niña) (Masotti et al., 2011) afectando gravemente la reproducción y el crecimiento de las poblaciones de peces pelágicos (Moyano et al., 2021).

El comportamiento de las corrientes oceánicas del Pacífico en desarrollo del ciclo de ENSO (Schwing et al., 2002), está dominado por el efecto Coriolis, desarrollando una piscina caliente en el Pacífico Occidental, el cual se propaga a través de las corrientes ecuatoriales en dirección contraria a la SEC (Hua et al., 2017), hasta llegar a Sudamérica y desviándose en dirección a la costa peruana y siguiendo el trayecto la Corriente de Humboldt (HCS) (Moyano et al., 2021).

La Corriente de Humboldt en el ciclo ENSO, desencadena cambios en la estructura de productores primarios y secundarios, provocando la abundancia peces pelágicos y de niveles tróficos más altos (Hernández et al., 2019), debido a la producción biológica de la HCS y la existencia de eventos de surgencia (Yang et al., 2018). En el fenómeno de “El Niño” se reduce el afloramiento de aguas frías y nutrientes (Thiel et al., 2007), mientras



que en el fenómeno de la “La Niña” la reducción en la presión del nivel del mar aumenta el afloramiento de aguas ricas en nutrientes (Masotti et al., 2011).



**Figura 1.3** Comportamiento de anomalías del evento del ENSO en el Pacífico Tropical (Bureau Meteorology, 2023).

#### 1.4.5 Paleobiogeografía

El Océano Pacífico es considerado la cuenca oceanográfica de mayor amplitud y cumple una función esencial ante la modulación del clima global, debido a que los sedimentos presentes dominan las limitaciones producto del sistema climático (Hernández et al., 2020). Los procesos de termoclina del Pacífico Tropical Oriental controlan la profundidad mar, siendo la sección de columna de agua donde la temperatura disminuye al máximo mientras que la profundidad aumenta (Pennington et al., 2006), incrementando el suministro de nutrientes, producción biológica y tasas de sedimentación de calcáreos, lodos silíceos y materia orgánica en el fondo del mar (Kamikuri & Moore, 2017).

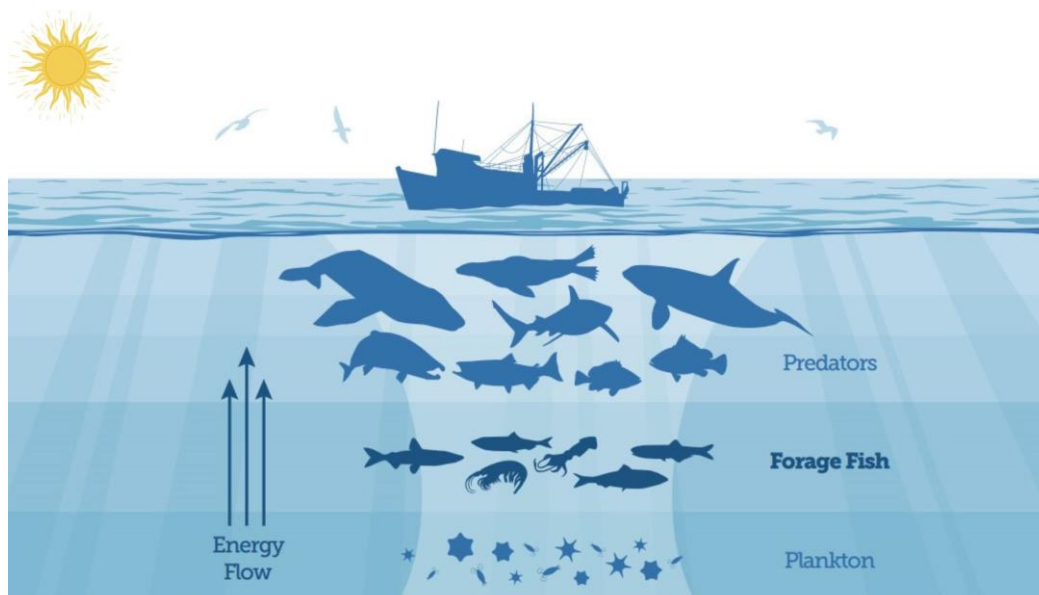
Dentro de la composición de los lodos silíceos se encuentran los Radiolarios, organismos planctónicos unicelulares con caparazón silíceo que se analizan frecuentemente con la finalidad de obtener la reconstrucción paleoceanográfica y ambiental, es un buen indicador de las masas de agua (Munir et al., 2020), y reflejan las condiciones de los océanos (Pisias et al., 1997); se encuentran ampliamente distribuidos verticalmente

desde la superficie hasta los 8000 m de profundidad en los océanos del mundo, incluyendo aguas árticas, subtropicales y tropicales, brindando información acerca del medio ambiente y el agua superficial (Qu et al., 2020).

#### 1.4.6 Producción Biológica

La cuenca del Pacífico Ecuatorial presenta microorganismos (Radiolarios y fitoplancton) (Dzulkafli et al., 2017; Leviton, 1995) indicadores de la actividad biológica importantes para la evolución de vida marina durante la manifestación del evento del ENSO (El Niño y La Niña), siendo tipificadores de masas de agua (CCCP, 2002). La variación de los nutrientes en el fenómeno de El Niño (ENSO) presentan las concentraciones promedio de: nitrito, nitrato, amonio, fosfato y silicato; disminuyendo durante los períodos cálidos y aumentando durante los períodos fríos (Afanasieva & Amon, 2006).

La abundancia de especies marinas depende de factores tal como la temperatura, salinidad y disponibilidad de nutrientes (Moncayo et al., 2022). El transporte de nutrientes principalmente del silicato ayuda al crecimiento y sedimentación de microorganismos (Levinton, 1995) como los Radiolarios que favorecen a la cadena trófica marina (figura 1.4). Entre las especies de peces pelágicos más abundantes presentes en la costa ecuatoriana durante el evento cálido “EL Niño (ENSO) (Benway et al., 2006) está representada por la especie de pez “*Etrumeus tere*” (sardina redonda) mientras que en el evento frío “La Niña” lo representa “*Scomber japonicus*” (macarela) (De la Cuadra, 2010).

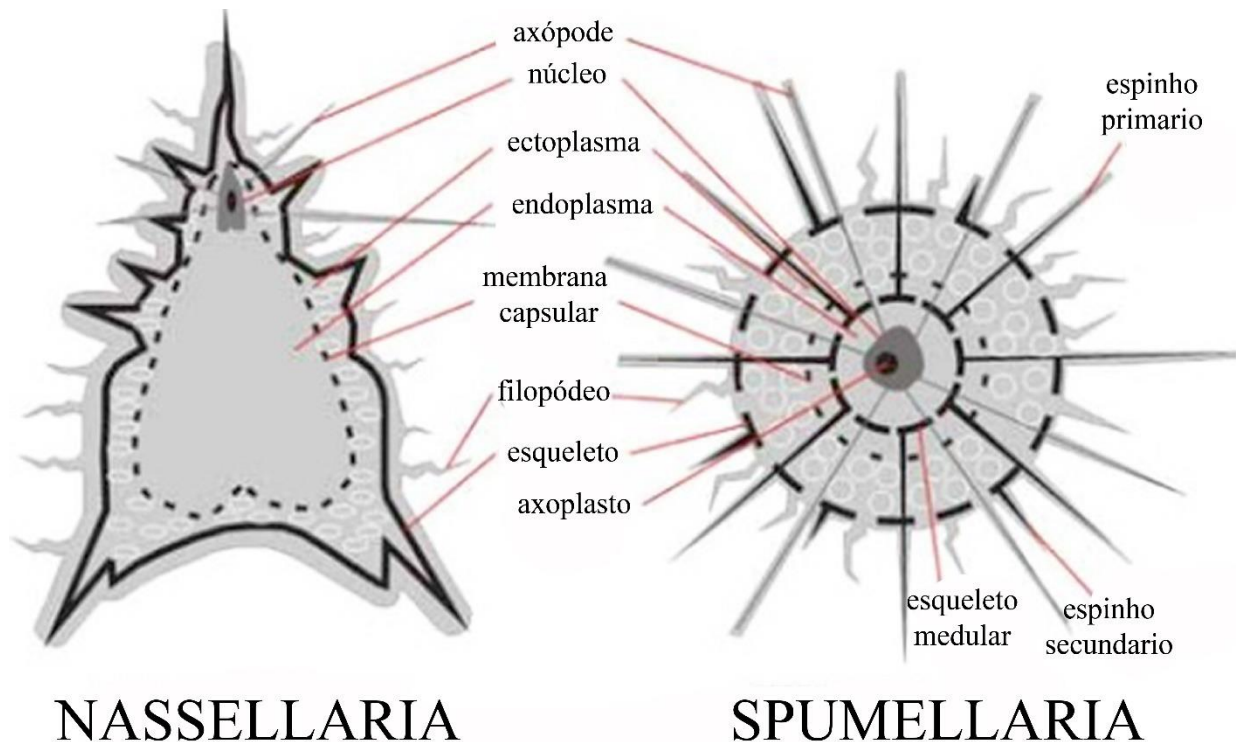


**Figura 1.4** Cadenas trófica marina (Pew, 2013).

### 1.4.7 Radiolarios

Los Radiolarios son protozoarios marinos de teca silíceo presentes en todos los océanos del mundo (mares poco profundos y fosas profundas del Pacífico) (Molina, 1984) formando parte del plancton marino desde el Precámbrico hasta la actualidad. Se presentan abundantemente en zona epipelágica (Boltovskoy et al., 2017) y mayormente diversos en especies en regiones tropicales (Popofsky, 1913). La distribución geográfica de las especies de Radiolarios depende de las variables climáticas oceánicas (Matsuzaki et al., 2015). Por ende, son indicadores biológicos de masas de agua específicas y de zonas de surgencia (Kamikuri et al., 2004).

Los Radiolarios están clasificados en el Orden de Acantharia, Polycystina y Phaeodaria (Sanfilippo et al., 1985). Los polycystinos estudiados en el presente proyecto se clasifican según el suborden en: Spumellaria (forma esférica, elipsoidales y discoidales) y Nassellaria (forma cónica) (Ayón et al., 2008). La identificación taxonómica de los polycystinos sigue la taxonomía clásica de Haeckelian, basada en similitudes y diferencias en los elementos y estructuras del esqueleto como criterios de identificación a nivel de especie (Castillo et al., 2017; Vasilenko & Vasilenko, 2021).



**Figura 1.5** Esqueleto de las clasificaciones del Orden de Radiolarios (Kochhann, 2015).

# CAPÍTULO 2

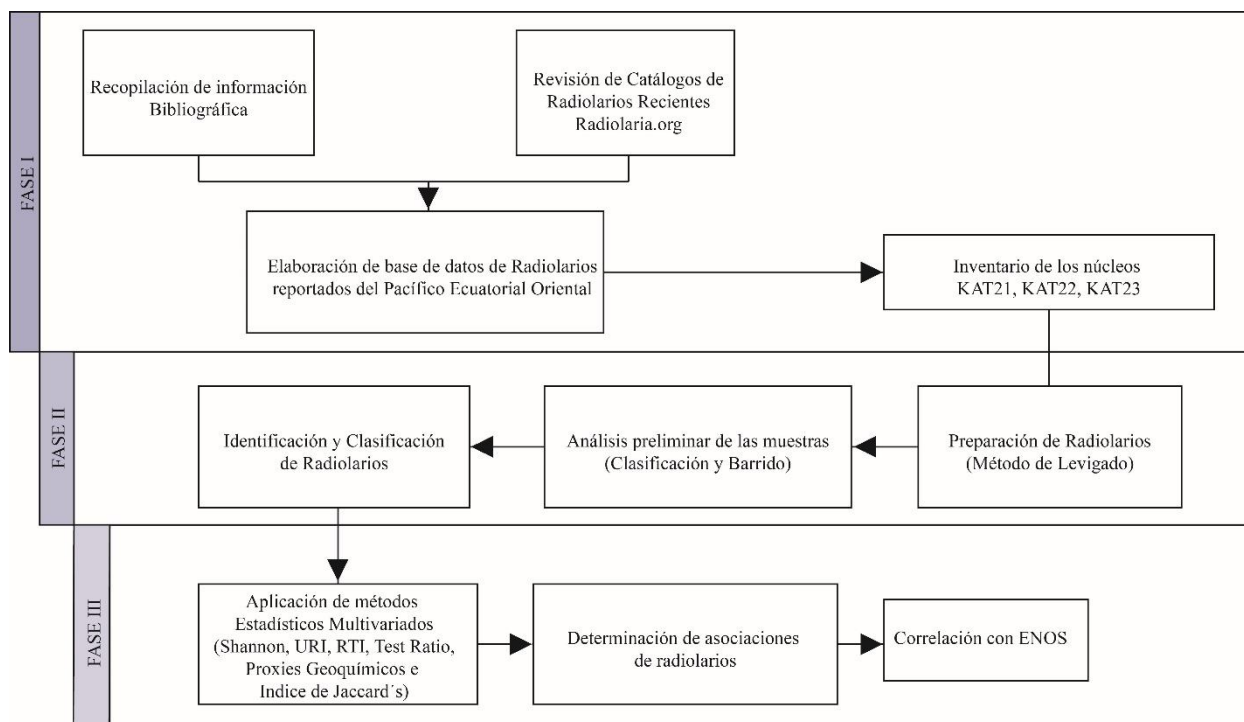
## 2. DATOS Y MÉTODOS

Los datos procesados en el presente proyecto fueron proporcionados por el grupo de investigación en Geociencias Marinas y Costeras (GEMAC-ESPOL), el cual, mantiene varios proyectos de cooperación con el Instituto de Investigación para el Desarrollo de Francia (Institut de Recherche pour le Développement - IRD) y el Centro Nacional de Investigación científica de Francia (Centre National de la Recherche Scientifique - CNRS).

La información obtenida consta de muestras de los sedimentos marinos de los núcleos de la fosa oceánica ecuatoriana denominados KAT 21, KAT 22 y KAT 23 por la campaña de extracción realizada en Atacames del 2012 a través del descorazonador 'Kullenberg' (K= Kullenberg; AT= Atacames; N.º= Número de perforación) y datos geoquímicos de espectrómetros de fluorescencia de rayos X (XRF).

Por consiguiente, las muestras obtenidas fueron tratadas por medio del método de levigado y el método de selección (Picking) con la finalidad de recuperar los Radiolarios. Por otro lado, se usó el catálogo online "Radiolaria.org" (Dolven, 2021) con el objetivo de identificar las especies de Radiolarios, y finalmente se realizó una evaluación cuantitativa basada en los siguientes métodos: Índice de similitud de Jaccard's, Geoquímica proxies, Índice de Surgencia de Radiolarios, Índice de Shannon – Wiener, Índice de Temperatura de Radiolarios y Test Ratio propuestos por Jaccard (Real & Vargas, 1996), Higginson (Higginson, 2019), Caulet (Nigrini & Caulet, 1992), Shannon (Qu et al., 2020), Haslett & Funnell (Kamikuri & Moore, 2017) y Harte (Harte et al., 2013) respectivamente.

La metodología del presente estudio fue estructurada en tres fases (Figura 2.1): (i) Búsqueda e inventario de Radiolarios recientes relacionados al evento del ENSO; (ii) Preparación, identificación y clasificación de los radiolarios de las muestras de los núcleos KAT21, KAT22, KAT23; y (iii) Correlación bioestratigrafía y paleogeográfica.



**Figura 2.1** Metodología implementada en el presente estudio.

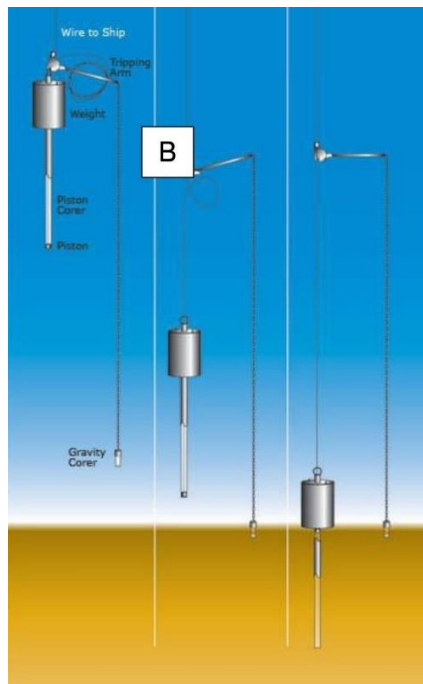
## 2.1 Fase I: Búsqueda e inventario de Radiolarios relacionados al ENSO

Se llevo a cabo la búsqueda de información bajo los criterios planteados: “Radiolarios”, “Océano Pacífico Ecuatorial Oriental”, “Fenómeno del ENSO”, “Corrientes Marinas” y “Cadena Trófica”; obteniendo así información que permitió conocer el estado de la investigación orientada a los Radiolarios recientes, su influencia con los eventos del ENSO y su relación con la abundancia de nutrientes y pesca de la fosa ecuatorial.

Posteriormente, se realizó la revisión del catálogo en línea de Radiolarios pertenecientes al Holoceno “Radiolaria.org” (Dolven, 2021), esta información fue comparada con la base de datos del libro “Micropaleontología Ecuatoriana” (Ordóñez et al., 2006) con el objetivo de conocer si ha sido antes reportada en base al género de Radiolario, para después de tratar las muestras obtenidas de los núcleos sedimentarios, obtener el registro paleoambiental del área de estudio y un listado de las especies de Radiolarios no reportadas.

Las muestras de los núcleos de sedimentos KAT21, KAT22 y KAT23, fueron obtenidas a través del crucero científico ‘ATACAMES’ desde el 14 de enero hasta el 21 de febrero del 2012. La extracción de las muestras de sedimentos consistió en utilizar un descorazonador ‘Kullenberg’ (figura 2.2), este dispositivo permitió la caída libre de un

barril sacatestigos de acero a través de un cable desde el costado del buque hasta el sedimento blando. Generando un contacto, haciendo que el brazo disparador envié el descorazonador de pistón hacia el fondo marino rápidamente. Mientras esto ocurrió, el interior del pistón se suspendió en la superficie del sedimento, originando un diferencial de presión en la parte superior de la columna de sedimentos, logrando que el material blando ingrese en el revestimiento del núcleo sin interrupciones. Finalmente, el soporte técnico tiro el cable del buque hasta que el sacatestigos salga del lecho marino, obteniendo así las muestras.



**Figura 2.2** Funcionamiento del descorazonador 'Kullenberg' para la extracción de muestras sedimentarias (IRD, 2012).

Por otro lado, en base a la información granulométrica proporcionada se generaron columnas granulométricas para conocer la variación del tamaño en profundidad de cada núcleo y la relación granulométría, la tabla 2.1 muestra las dimensiones de los núcleos estudiados.

**Tabla 2.1** Ubicación y dimensiones de los núcleos sedimentarios (IRD, 2012).

Núcleos	Latitud (N)	Longitud (W)	Columna de agua (m)	Potencia del núcleo (m)
KAT 21	00°39.819´	80°38.922´	3802	8.63
KAT 22	00°59.686´	80°28.491´	3973	8.98
KAT 23	01°16.387´	80°20.206´	3973	8.18

## 2.2 Fase II: Preparación y clasificación de las muestras de los núcleos

### 2.2.1 Preparación de muestras

Una vez obtenidas las 27 muestras (13 secas y 14 húmedas) de los núcleos KAT21, KAT22, KAT23, las denominadas “muestras húmedas” fueron procesadas mediante el método de levigado (Ordóñez et al., 2006), el cual fue llevado a cabo en el laboratorio de Arqueología (FSCH-ESPOL), utilizando los siguientes implementos de laboratorio (figura 2.3):

- 2 agitadores.
- 2 pipetas
- 1 tamiz #325.
- 14 portamuestras.
- 1 balanza eléctrica ‘KERN’
- 2 Beaker de pirex de 50 ml.
- Azul de Metileno.
- 1 pincel #001
- 1 deshumificador.
- 1 ultrasonido ‘BRANSON’.

				
Agitadores	Pipetas	Beaker de 50ml	Azul de metileno	Tamiz #325
				
Pincel #001	Portamuestras	1 Deshumificador	Balanza electrónica	Ultrasonido Branson

**Figura 2.3** Materiales de laboratorio utilizados en la preparación de muestras (Método de levigado).

Procedimiento del método de levigado (figura 2.4):

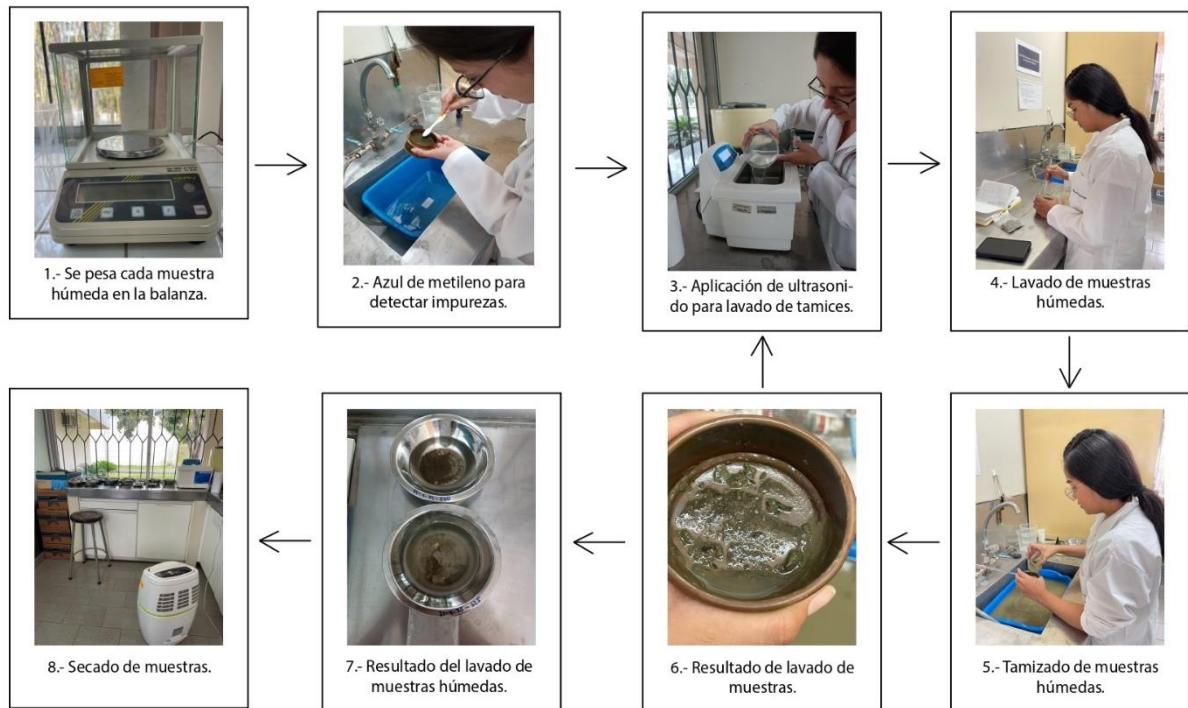
1. Para dar inicio al método de levigado se pesaron las 14 muestras húmedas en la balanza ‘KERN’ con error de  $\pm 0.1$ mg, obteniendo pesos iniciales que varían entre 78.290 – 27.417 gramos como se observa en tabla 2.2.
2. Consecutivamente, se escogió una de las muestras de los núcleos, esta fue vertida en un beaker de pirex de 50 ml, hasta ser cubierta por agua.
3. La muestra se mantuvo en reposo durante 5 min y luego fue agitada hasta que fue totalmente diluida.

4. Posteriormente, se lavó la muestra con ligeros chorros de agua a presión en el tamiz #325 hasta que el agua que limpia la muestra quede transparente.
5. La muestra lavada fue transferida a un recipiente de aluminio con la menor cantidad de agua posible.
6. Se dejó secar la muestra durante 24 horas con la ayuda de un deshumificador para acelerar el proceso de secado.
7. Se vertió el residuo de la muestra en un portamuestras de sedimento con su respectivo código para luego ser examinada.
8. Finalmente, el tamiz #325 fue lavado con azul de metileno y puesto en ultrasonido durante 5 minutos para repetir el proceso de tamizado con las demás muestras de los núcleos.



**Tabla 2.2** Muestreo de los sedimentos marinos estudiados de la fosa ecuatoriana.

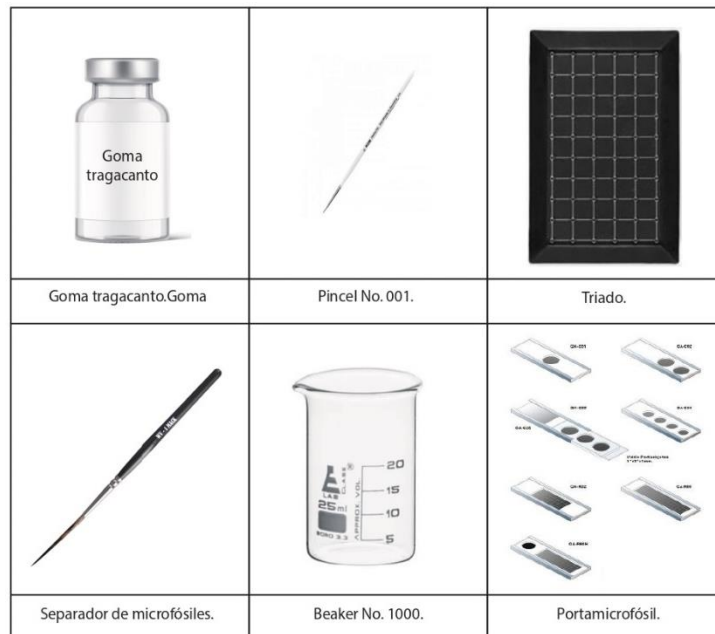
DATUM UTM WGS84		Núcleo	Código	Muestras Húmedas		Muestra seca (g)	Profundidad del agua (m)
				Muestra húmeda + Funda (g)	Muestra húmeda (g)		
Latitud (N)	Longitud (W)						
00°39.819'	80°38.922'	KAT21	21-4-75	56.856	56.856	2.185	3802
			21-5-25	49.029	49.029	3.445	
			21-6-70	29.835	29.835	0.398	
			21-8-15	44.436	44.436	1.138	
00°59.686'	80°28.491'	KAT22	22-1-50	61.460	61.460	0.464	3962
			22-5-45	55.341	55.341	0.225	
			22-5-90	46.425	46.425	0.078	
			22-7-25	57.338	57.338	1.088	
			22-7-90	66.459	66.459	0.976	
			22-9-85	52.867	52.867	9.919	
01°16.387'	80°20.206'	KAT23	23-1-90	71.220	71.220	0.413	3973
			23-3-40	50.017	50.017	0.258	
			23-3-90	80.708	80.708	0.089	
			23-5-20	60.863	60.863	0.054	



**Figura 2.4** Procedimiento para el tratamiento de muestras (método de levigado) de los núcleos.

Una vez culminado el método de levigado para las muestras húmedas, en conjunto con las muestras secas, se realizó un barrido general para conocer el porcentaje de microfósiles (Radiolarios, Foraminíferos, Ostrácodos y restos vegetales como escamas, dientes de pez, entre otros) que contiene cada muestra.

El método de selección (Picking) consistió en la extraer 300 Radiolarios por muestras utilizando los materiales de la figura 2.5, clasificándolos por su morfología (discoidales, esferoidales y alargados) a través de un estereoscopio “ZEISS” con magnificación de 50 X, permitiendo colocar un máximo de 300 Radiolarios en las celdas de las placas de microfósiles, optimizando la identificación posterior. La razón principal de la extracción de los 300 Radiolarios es por la aplicación los métodos estadísticos multivariados, siendo necesarios para conocer la diversidad de especies de Radiolarios y la determinación de las condiciones marinas o pelágicas en el área de estudio.

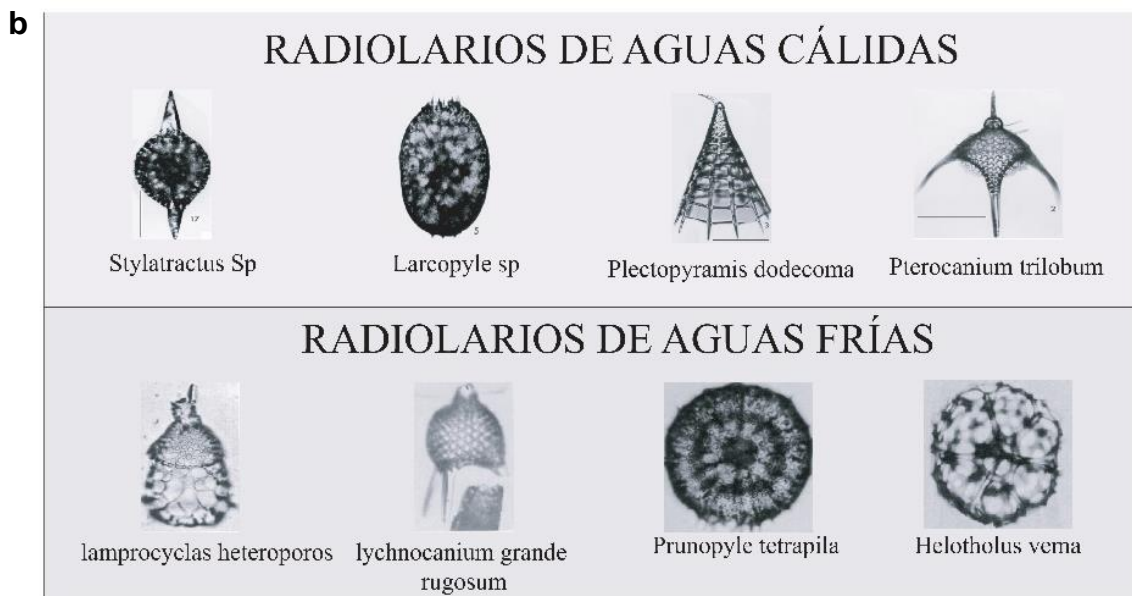
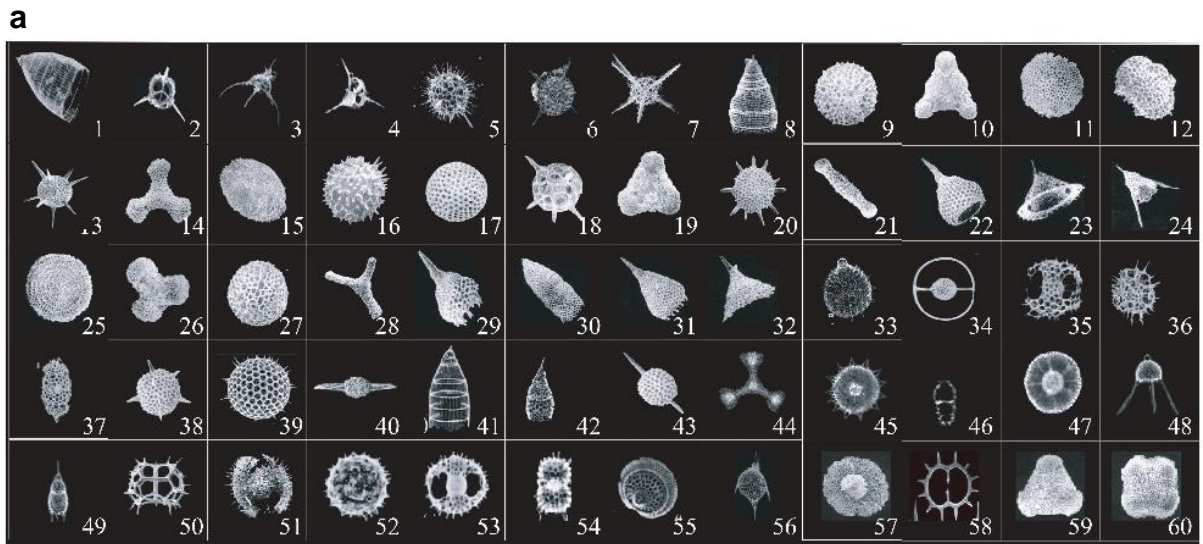


**Figura 2.5** Materiales de laboratorio utilizados en la identificación de los Radiolarios.

### 2.2.2 Identificación de Radiolarios

La identificación de Radiolarios se realizó en el laboratorio de Paleontología (FICT-ESPOL), haciendo uso del estereoscopio “MEIJI” con magnificación de 70 X, medida óptima, permitiendo observar las características más relevantes y significativa de cada género de Radiolarios recientes, clasificándolas según su género y especie en base a catálogos e información bibliográfica entre estas están: “Middle to Upper Pleistocene Polycystine Radiolarians from Hole 902-C9001C, Northwestern Pacific”(Matsuzaki et al., 2015), “Millennial-scale variations of late Pleistocene radiolarian assemblages in the Bering Sea related to environments in shallow and deep waters” (Itaki et al., 2012) y “Pleistocene radiolarian biostratigraphy of the submarine Vityaz Ridge, Northwest Pacific”( Vasilenko,2021).

La Figura 2.6 ilustra los Radiolarios significativos de los núcleos según la abundancia, así como las especies indicadoras de surgencia y temperaturas, las cuales, al ser provenientes de sedimentos silíceos, su estructura también es silíceo haciendo de ellos microorganismos frágiles en condiciones de evento calientes a consecuencia de la limitación del Si.



**Figura 2.6** Radiolarios Recientes: a) Placa de las especies de Radiolarios, b) Clasificación de Radiolarios representativos en aguas cálidas y aguas frías. (Dolven, 2021)

Los 6915 Radiolarios extraídos, fueron comparados e identificados en catálogos y documentos científicos antes mencionados, definiendo 215 especies identificadas de las cuales se consideraron 23 especies comprendidas entre 14 especies reportadas y 9 especies de radiolarios ubicadas en los géneros *Euchitonia*, *Spongurus*, *Schizodicus* y *Spongodiscus*, a nivel de especie no se encontró reportado en la bibliografía especializada. Estos géneros deben ser posteriormente estudiadas, discutidas y reportadas como nuevas especies.

La información micropaleontológica fue almacenada en una base de datos la cual reposa actualmente en el laboratorio de paleontología de la facultad de Ingeniería en Ciencia de la Tierra (FICT-ESPOL), reportando la ocurrencia según la especie y morfología del Radiolario. En la definición de la nomenclatura del nombre de las especies nuevas de Radiolarios que fueron identificados se usó el género más abreviatura detallada en la tabla 2.4.

**Tabla 2.3** Significado de las abreviaturas en la nomenclatura de un taxón.

<b>Abreviatura</b>	<b>Significado</b>
sp	Una muestra del taxón.
spp#	Varias muestras del mismo taxón.
aff.	afinidad con otros taxones.

### **2.3 Fase III: Análisis e Interpretación bioestratigrafía y paleogeográfica.**

En la fase III se realizó la evaluación cuantitativa de los métodos multivariados: Índice de similitud de Jaccard's, Proxies Geoquímicos, Índice de Surgencia de Radiolarios (URI), índice de Shannon – Wiener e Índice de Temperatura de Radiolarios (RTI); Interpretación de asociaciones de Radiolarios; Correlación con los eventos ENSO y Diversidad en base a los datos obtenidos en la fase II.

#### **2.3.1 Índice de similitud de Jaccard's (Jaccard's index of similarity)**

El índice de similitud fue implementado en el presente estudio para el análisis de la distribución espacial de los Radiolarios (Albanesi & Bergström, 2010) y la comparación de grupos de taxones presentes en los tres núcleos estudiados, conociendo el grado de perturbación, el recambio de especies con la altitud y localización calculando dos tipos de similitudes basadas en la incidencia (presencia-ausencia de especies) y abundancia, obteniendo una medida de la similitud (López et al., 2008).

El método consistió en establecer a través de la identificación de las especies de radiolarios obtenidas de las 27 muestras de los núcleos estudiados conjuntos de datos, tales conjuntos fueron definidos por el núcleo e intervalo “muestra”. Los conjuntos determinados contienen las especies de radiolarios identificadas. La unión de los conjuntos de “muestra” dividida por la similitud de especies que posee uno de los

conjuntos de “muestras” proporciona los valores de similitud, que varían entre 0 a 1, cuanto más cerca de 1, más similares son los dos conjuntos muestras (Real & Vargas, 1996). El índice de similitud esta expresado en la ecuación 2.1 (Jaccard, 1900):

$$J(A, B) = \frac{|A \cap B|}{|A \cup B|} \quad (2.1)$$

Donde:

*A*: X conjunto de muestra.

*B*: Y conjunto de muestra.

$J(A, B)$ : Indices de similitude de Jaccard's.

$A \cap B$ : Especies presentes en ambos núcleos.

$A \cup B$ : Total de especies.

Si dos conjuntos de muestras comparten exactamente las mismas especies, su índice de similitud Jaccard será 1 (Raup & Rex, 2022).

### 2.3.2 Indicadores de productividad geoquímica: Ca, Ba, Br, Si/Ti y Si/Al

Los indicadores de productividad geoquímica proporcionan información semicuantitativa, desarrollada a partir de los datos fluorescencia de rayos x de los sedimentos marinos obtenidos de los núcleos KAT 21, KAT 22 y KAT 23 en intervalos submilimétricos (XRF) en unidades adimensionales. A continuación, se detalla el uso de los elementos proxies del sedimento marino

**Tabla 2.4** Aplicación de los elementos geoquímicos de la fosa Oceánica (Haschke, 2006).

Elementos indicadores de productividad geoquímica	Uso
Ca	Indicador de productividad oceánica y la variación de Ca refleja típicamente la estratigrafía de CaCO <sub>3</sub> en núcleos pelágicos.
Br	Cuantificador de materia orgánica marina y productividad.
Si	Indicador del suministro de sedimentos terrígenos
S	Indicador de condiciones reductoras.
Sr	Marcador de origen biogénico
Ti	Registra la entrega de sedimentos terrígenos a través de la escorrentía.

El método permitió registrar variaciones en parámetros fundamentales a través de los indicadores de productividad geoquímica (detallada en la tabla 2.5): Ca, Br, Si, Ti, S y Sr para brindar información de la productividad en los océanos, movimientos del agua y la diagénesis (Gebhardt et al., 2008; Van et al., 2007). Geochemical productivity proxies consistió en revisar la relación proxy con la susceptibilidad magnética de los núcleos KAT 21, KAT 22 Y KAT 23, y junto a la espectrofotometría correlacionar la abundancia de elementos.

### **2.3.3 Índice de surgencia de Radiolarios (Upwelling Radiolarian Index - URI)**

El método Upwelling Radiolarian Index fue usado espacialmente para conocer la presencia de especies indicadoras de surgencia (Haslett, 2003) y monitorear las variaciones temporales en los sistemas de afloramiento del Pacífico ecuatorial oriental utilizando muestras de la parte superior de los núcleos del Pleistoceno – Holoceno, relacionadas con diferentes masas de agua.

La aplicación del método URI consistió en (Combes. et al., 2005):

1. Contar con 300 Radiolarios por muestra.
2. Porcentual las abundancias de cada especie por muestra.
3. Identificar las especies indicadoras de surgencia.
4. Obtener el valor URI (Suma de pesos en porcentajes de las especies indicadoras de surgencia).

### **2.3.4 Índice de diversidad de Shannon-Wiener**

El Índice de diversidad de Shannon-Wiener fue utilizado como indicador de la diversidad de las especies (Kamikuri & Moore, 2017), ya que nos permitió reflejar la variedad de Radiolarios en términos del número de especies y su abundancia relativa. Para el cálculo del índice de Shannon-Wiener se usó la siguiente ecuación 2.2 (Shannon, 1948):

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \log_2 P_i \quad (2.2)$$

Donde:

$H'$ : Índice de diversidad

$S$ : Especie de Radiolarios de cada muestra

$P_i$ : Probabilidad de ocurrencia, es decir, la proporción de individuos de la especie

$i$ : Total de individuos.

$\log_2$ : Abundancia relativa de cada especie

### 2.3.5 Índice de Temperatura de Radiolarios (RTI)

El método RTI fue usado para obtener una relación paleoclimática del Pacífico tropical oriental, el cual se estableció utilizando la clasificación de taxones de Radiolarios propios de aguas cálidas y aguas frías. Este método se calcula bajo la siguiente ecuación 2.3 (Trotta et al., 2022):

$$RTI = \frac{X_W}{X_W + X_C} * 100 \quad (2.3)$$

Donde:

$X_W$ : Frecuencia de especies de aguas cálidas

$X_C$ : Frecuencia de especies de aguas frías

El valor de RTI varía de 0 a 100 y se vuelve sistemáticamente más grande desde la región de latitudes altas hasta la región tropical, mostrando una correlación positiva con la temperatura del agua superficial (Kamikuri & Moore, 2017).

### 2.3.6 Test Ratio (Taxon Ratio)

El método Test Ratio proporciona información de la ubicación en la que fueron tomados los núcleos sedimentarios de acuerdo con la proporción entre Espumelarios (S) y Naselarios (N), tanto de caparazones, como grupos taxonómicos. De acuerdo con los estudios realizados (Casey, 1972) los Espumelarios dominan la zona fótica (< 200 metros) y zonas de plataforma "nearshore", mientras que los Naselarios dominan las profundidades por debajo de los 2000 metros y las zonas de océano abierto (Boltovskoy & Jankilevih, 1985).

El método Test Ratio se realizó haciendo una relación de los caparazones Espumelarios sobre los caparazones Naselarios, en donde se consideró que los valores menores a 1



el sector está dominado por los Naselarios, pero si los valores son mayores a 1 existe una dominancia Espumelaria.

### **2.3.7 Correlación**

Para la correlación de las especies de Radiolarios asociada a los periodos cálidos y fríos del ENSO, se usó el índice estadístico multivariado de similitud de Jaccard`s en función de las especies que guardan relación entre los núcleos KAT 21, KAT 22 y KAT 23. En la correlación realizada se usó especies indicadoras de eventos fríos y cálidos para lograr un conocimiento más adecuado de los procesos ocurridos durante el Holoceno.

### **2.3.8 Determinación de Asociaciones de Radiolarios**

En la asociación de Radiolarios se fusionaron los métodos estadísticos antes detallados, para conocer los patrones, predominancia y comportamiento de los Radiolarios entre los núcleos KAT 21, KAT 22 Y KAT 23 según la diversidad de especies; la temperatura y surgencia de acuerdo con las corrientes asociadas al fenómeno de “El Niño-Oscilación Sur”; predominancia de la clasificación taxonómica de Radiolarios (Naselarios y Espumelarios) y la información geoquímica en el área de extracción de núcleo.

# CAPÍTULO 3

## 3. RESULTADOS

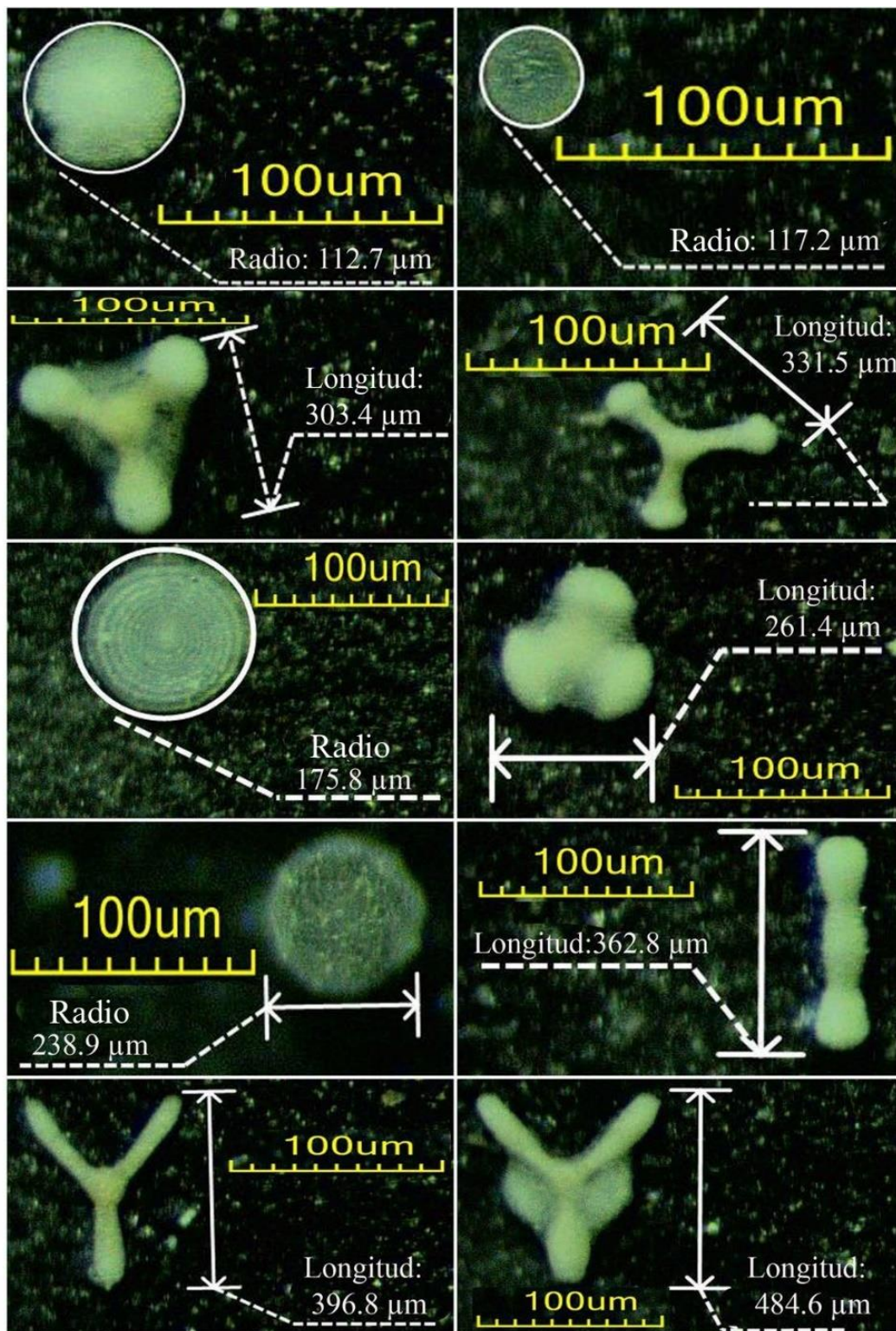
Para estudio de paleontológico de los núcleos se realizó un barrido de las muestras obteniendo como resultados la siguiente información observada en la tabla 3.1 de manera general ilustra el contenido en porcentaje de Radiolarios, poniendo en marcha el método de selección (Picking), realizado en el laboratorio de Arqueología (FSCH-ESPOL), extrayendo un total de 6915 Radiolarios de las 27 muestras obtenidas de los núcleos KAT 21, KAT 22 Y KAT 23.

**Tabla 3.1** Contenido fosilífero de las muestras estudias de los núcleos.

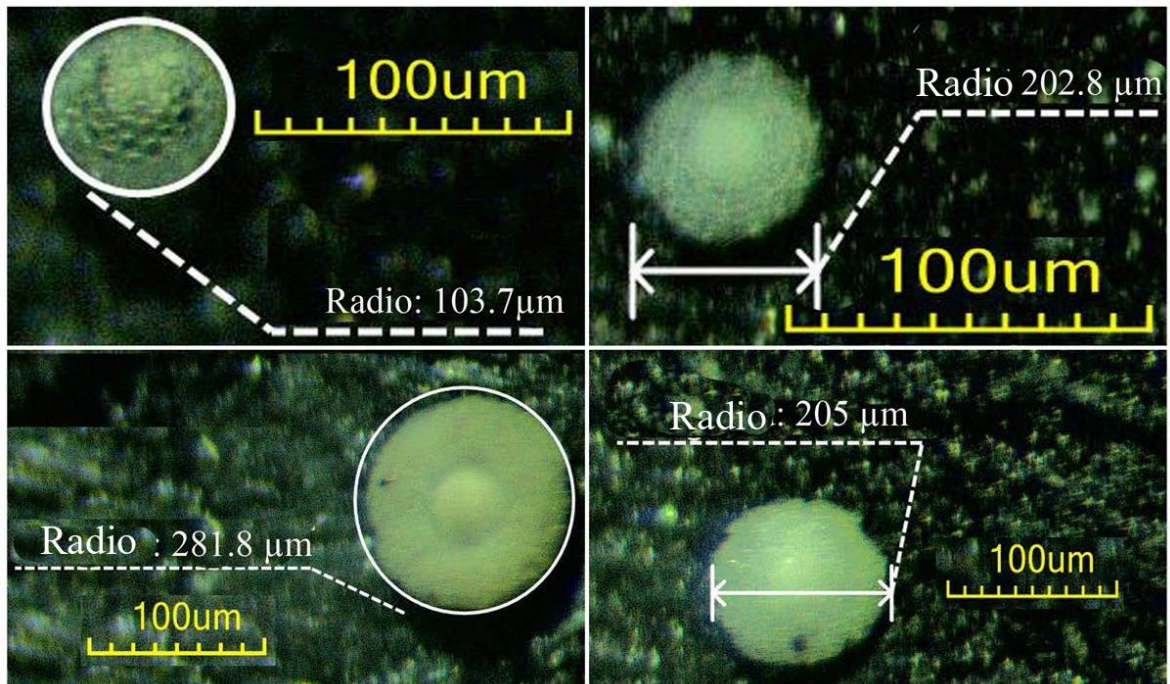
Núcleo	Porcentaje presente en la muestra				
	Radiolario	Foraminíferos	Ostrácodos	Resto Vegetal	Minerales
KAT 21	59%	33%	0%	0%	8%
KAT22	75%	14%	1%	1%	9%
KAT23	89%	8%	0%	0%	3%

### 3.1 Identificación de especies de Radiolarios.

Se extrajeron un total de 6915 Radiolarios, los cuales fueron identificados y 14 de ellos fueron considerados especies de mayor abundancia. La gran mayoría de los taxones de Radiolarios identificados se presentan entre núcleos, los cuales se observan en la figura 3.1 y figura 3.2, tales especies ya han sido reportadas.



**Figura 3.1** Radiolarios identificados y reportados. a) *Spongopyle osculosa*, b) *Collosphaera sp1*, c) *Dictyocoryne profunda.*, d) *Hymeniastrum euclidis.*, e) *Stylodycta valdispina.*, f) *Dictyocoryne truncatum*, g) *Cenosphaera cristata*, h) *Spongurus cylindricus.*, i) *Euchitonia elegans*, j) *Euchitonia sp.*



**Figura 3.2** Radiolarios identificados y reportados. k) *Carposphaera melitomma*, l) *Spirotunica spiralis*, m) *Schizodiscus japonicus*, n) *Spongodiscus resurgens*

A continuación, se describe las especies de Radiolarios identificadas más abundantes de la figura 3.1 y figura 3.2.

***Spongopyle osculosa.*** (figura 3.1-a)  
Dreyer, 1889.

Descripción:

Estructura circular con una textura esponjosa con un diámetro de 121-289 µm., un piloma tubular enrejado de 18-68 µm de longitud y 10-25 µm de ancho. Tiene una forma de lente biconvexa, su parte central es más gruesa que el margen. Su tamaño aumenta dependiendo del aumento de tamaño del disco.

Tamaño:

Radio: 112.7 micrometros.

Paleoambiente:

Marino.

***Collosphaera sp1.*** (figura 3.1-b)  
Benson, 2003.

Descripción:

Superficie circular con abundantes crestas, que al cruzarse entre ellas forman marcos poligonales bordeando los poros abiertos, rellenos y, además, se forman espinas. Los poros que se observan pueden tener forma circular o subelíptica, sin guardar un orden en tamaño y disposición, estos son separados por barras anchas a intermedias y puede haber entre 10 a 23 poros en parte central. Alguno de ellos presentando túbulos que los rodean parcial o totalmente.

Tamaño:

Diametro: 117.2 micrometros.

Paleoambiente:

Marino.

***Dictyocoryne profunda.*** (figura 3.1-c)  
Ehrenberg, 1860.

Descripción:

Consta de una región central formada por 5-10 anillos concéntricos concéntricas, enrejadas y discoidales; sus brazos son anchos en la parte superior, presentando una misma disposición a disposición bilateral, pero, el brazo impar es de mayor tamaño, todos los brazos están formados con 10-16 anillos concéntricos. El patagio presenta una textura esponjosa, parcialmente desarrollada, aunque puede estar ausente. Las medidas de la capa concéntrica son de 68-105  $\mu\text{m}$ ; el brazo impar entre 65-185  $\mu\text{m}$  con una anchura de 53-135  $\mu\text{m}$ , mientras que los brazos pares miden entre 62-197  $\mu\text{m}$  y 64-193  $\mu\text{m}$ ; la longitud de la base triangular 135-411  $\mu\text{m}$ , de altitud 161-42  $\mu\text{m}$ .

Tamaño:

Longitud: 303.4 micrometros.

Paleoambiente:

Marino

***Hymeniastrum euclidis.*** (figura 3.1-d)  
Haeckel, 1887.

Descripción:

Formado por tres brazos con un tamaño y forma similar, separados por ángulos casi iguales; algunas especies contienen un patagio esponjoso que se presenta a través de capas. En la región central se observa una forma circular a subtriangular en contorno, con 4-5 conchas enrejadas discoidales biconvexas; sus brazos son muy estrechos, pero, aumenta su anchura en la parte superior, en forma de puntas vulvosas anchas, cada uno puede tener entre 13-25 anillos concéntricos, irregulares, parciales, separados a la misma distancia.

Tamaño:

Longitud: 331.5 micrometros.

Paleoambiente:

Marino

***Stylodycta valdispina.*** (figura 3.1-e)  
Jorgensen, 1905.

Descripción:

Estructura discoidal con un grosor casi uniforme (con un margen estrecho), esquinas afiladas y obtusas; en la parte central presentan espinas. Los anillos en esta especie tienen forma cuadrangular con esquinas circulares; a medida que avanza desde el interior hacia el exterior, van aumentando la cantidad de anillos; en el borde se forman alrededor de 21 espinas cónicas marginales ecuatoriales. Los poros en la parte central se encuentran esparcidos muy pequeños y puntiformes, aumentando su tamaño a medida que se esparcen a la parte exterior. Las espinas son de diferente longitud, siendo la más larga  $\frac{1}{2}$  del radio de la especie.

Tamaño:

Longitud: 331.5 micrometros.

Paleoambiente:

Marino

***Dictyocoryne trucantum.*** (figura 3.1-f)  
Ehrenberg, 1861.

Descripción:

Estructura circular en la parte central y en los extremos de la especie con pequeños compartimentos ligeramente más anchas que la parte intermedia de sus barras. Se observa la presencia de agujas prominentes. Generalmente, esta especie presenta una forma de husillo en la parte central y se redondea de manera semiesférica en los dos polos; tiene una textura esponjosa y fina, lo que permite una pequeña disposición de cámaras.

Tamaño:

Longitud: 261.4 micrometros.

Paleoambiente:

Marino

***Cenosphaera cristata.*** (figura 3.1-g)  
Riedel, 1958

Descripción:

Formada por una estructura circular central, enrejadas y discoidales; consta de dos brazos opuestos a un brazo impar recto y similares que, además, presenta una bifurcación en la parte superior, lo que la distingue de 'Euchitonia sp.'

Tamaño:

Longitud: 238.9 micrometros.

Paleoambiente:

Marino

***Spongurus cylindricus.*** (figura 3.1-h)  
Haeckel, 1860.

Descripción:

Estructura circular en la parte central y en los extremos de la especie con pequeños compartimentos ligeramente más anchas que la parte intermedia de sus barras. Se observa la presencia de agujas prominentes. Generalmente, esta especie presenta una forma de husillo en la parte central y se redondea de manera semiesférica en los dos polos; tiene una textura esponjosa y fina, lo que permite una pequeña disposición de cámaras.

Tamaño:

Radio: 362.8 micrometros.

Paleoambiente:

Marino

***Euchitonia elegans.*** (figura 3.1-i)  
Boltovskoy, 1998

Descripción:

La distancia de sus brazos inferiores emparejados es la mitad de la distancia que existe con el brazo superior; el brazo superior es recto, mientras que los brazos inferiores se encuentran curvados cóncavamente. La anchura de sus brazos es menor que su tamaño y, en su extremo distal son puntiagudos, con una espina terminal cónica.

Tamaño:

Longitud: 396.8 micrometros.

Paleoambiente:

Marino



***Euchitonia sp.*** (figura 3.1-j)  
Benson, 1983.

Descripción:

Esqueleto en forma de disco inflado, de color opaco, con lados planos porosos entre 8 y 11  $\mu\text{m}$ . En la parte central se observa un color más oscuro que el resto del caparazón, con un diámetro de 70 a 100  $\mu\text{m}$  y poros finos. Una característica representativa de esta especie es la ausencia de espinas en la periferia de su esqueleto.

Tamaño:

Longitud: 484.6 micrometros.

Paleoambiente:

Marino

***Carposphaera melitomma.*** (figura 3.2.k)  
Haeckel, 1881.

Descripción:

Conchilla formada por dos esferas concéntricas que se enlazan mediante varillas pequeñas radiales; consta de 10-15 poros en el eje ecuatorial. La conchilla cortical tiene un diámetro de 130-250 mm y tiene paredes gruesas y en la superficie una forma de enrejado con pequeñas espinas cónicas y con poros circulares.

Tamaño:

Radio: 103.7 micrometros.

Paleoambiente:

Marino

***Spirotunica spiralis.*** (figura 3.2.l)  
Haeckel, 1862.

Descripción:

Presenta un esqueleto de forma elipsoidal con presencia de pilotes en un polo; en su eje principal se observan tabiques espirales cortos que se encuentran en la parte central de la especie y representa entre 3 – 5 anillos concéntricos.

Tamaño:

Radio: 202.8 micrometros.

Paleoambiente:

Marino

***Schizodiscus japonicus.*** (figura 3.2-m)  
Matsuzaki et al., 2014.

Descripción:

Esqueleto en forma de disco inflado, de color opaco, con lados planos porosos entre 8 y 11  $\mu\text{m}$ . En la parte central se observa un color más oscuro que el resto del caparazón, con un diámetro de 70 a 100  $\mu\text{m}$  y poros finos. Una característica representativa de esta especie es la ausencia de espinas en la periferia de su esqueleto.

Tamaño:

Radio: 281.8 micrometros.

Paleoambiente:

Marino

***Spongodiscus resurgens.*** (figura 3.2-n)  
Ehrenberg, 1854

Descripción:

Forma de disco esponjoso lenticular, biconvexo; en la parte central presenta un color más oscuro y ancho, mientras que en la parte exterior posee un marco irregular, sin anillos concéntricos, pero, con abundantes vigas radiales penetrantes. Su diámetro es de 0.1 a 0.3  $\mu\text{m}$  y de las mallas de 0.003 a 0.006  $\mu\text{m}$ .

Tamaño:

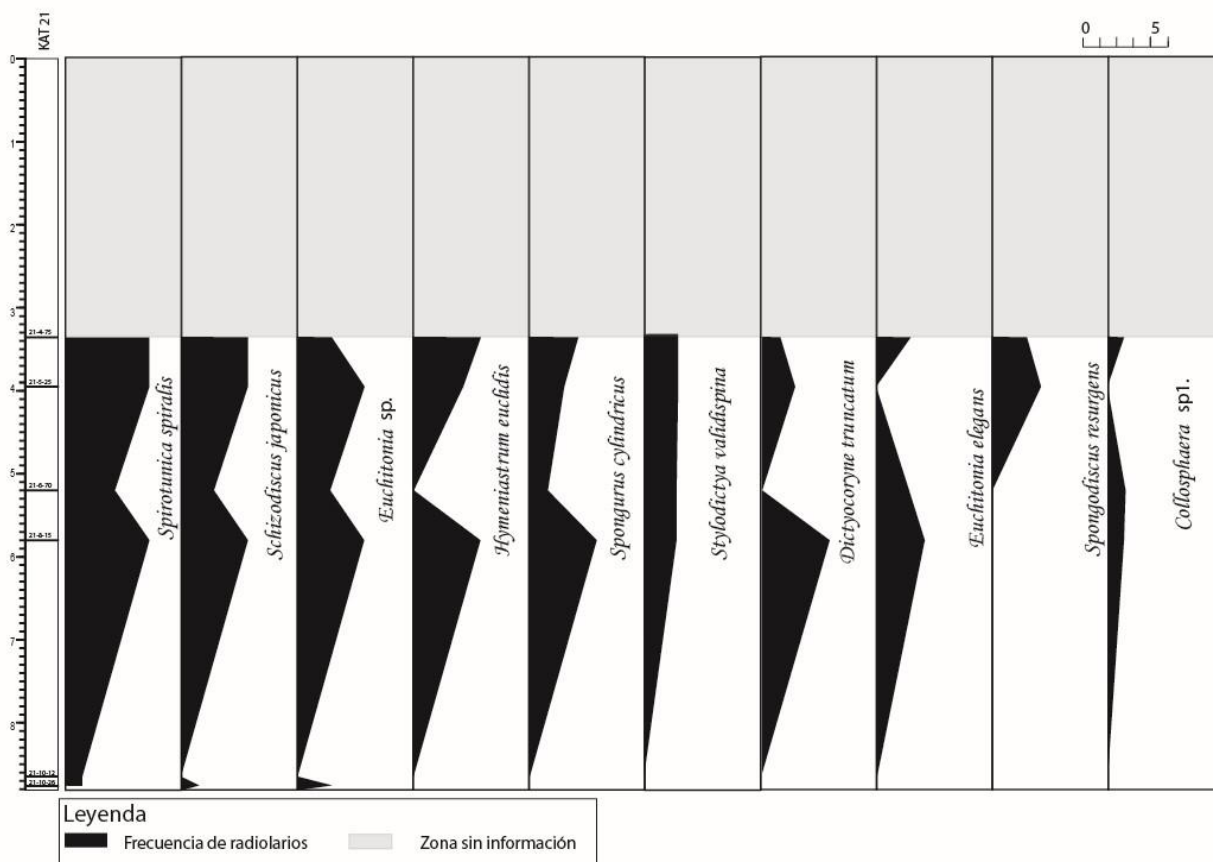
Radio: 205 micrometros.

Paleoambiente:

Marino

La abundancia relativa para núcleo KAT 21 determinó 10 especies de más frecuentes las cuales son (figura 3.3): 13% *Spirotunica spiralis*, 9% *Schizodiscus japonicus*, 8% *Hymeniastrum euclidis* y *Euchitonia sp*, 7% *Spongurus cylindricus*, 5% *Stylodictya valdispina* y *Dictyocoryne truncatum*, 4% *Euchitonia elegans*, 3% *Spongosicus resurgens* y *Collosphaera sp1*.

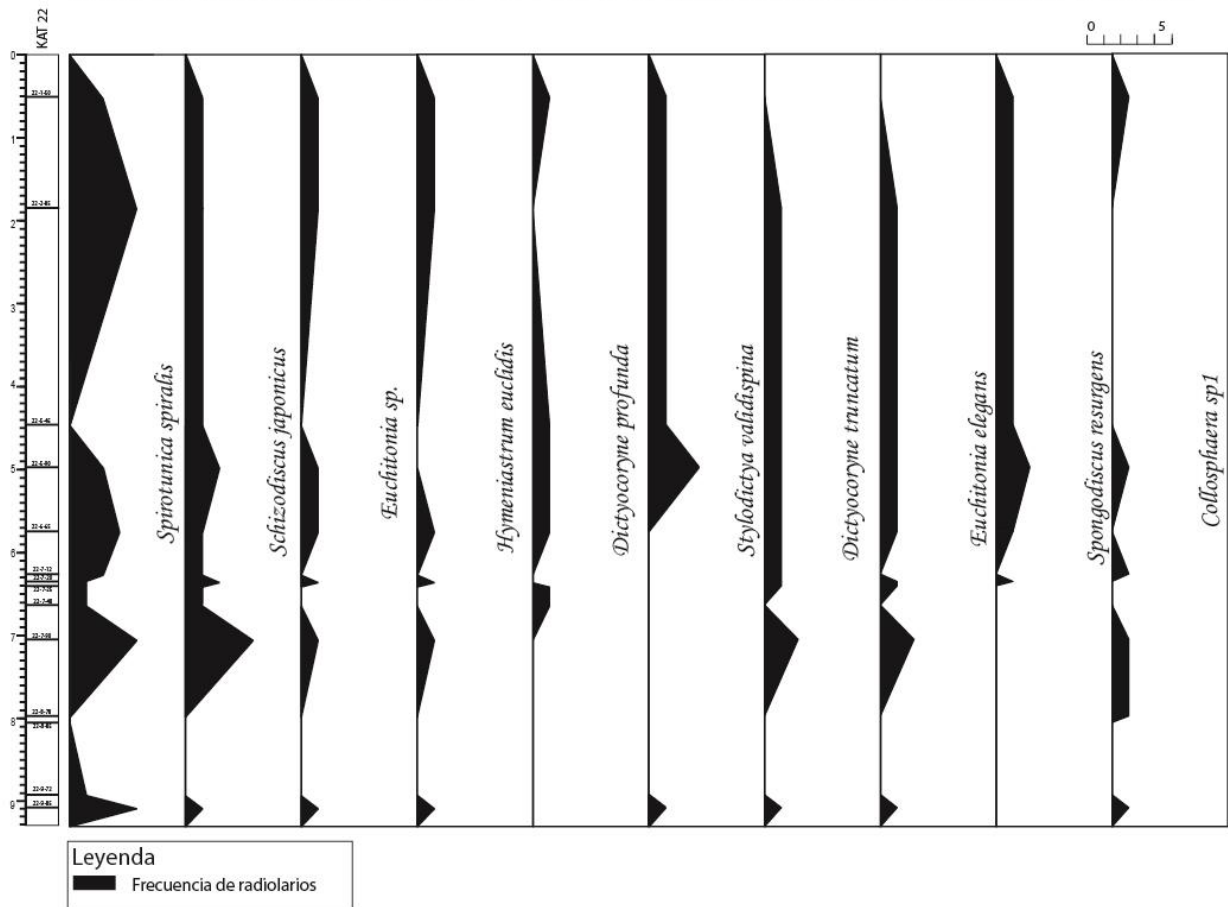
## ABUNDANCIA RELATIVA DE ESPECIES DE RADIOLARIOS DOMINANTES KAT21



**Figura 3.3** Abundancia relativa del núcleo KAT 21.

La abundancia relativa para núcleo KAT 22 determino 10 especies de más frecuentes las cuales son (figura 3.4): 12% *Spirotunica spiralis*, 9% *Schizodiscus japonicus*, 5% *Dictyocoryne truncatum*, 4% *Stylodictya valdispina* y *Euchitonia elegans*, 3% *Euchitonia sp.*, *Spongodiscus resurgens* *Collosphaera sp1* y *Hymeniastrum euclidis*, 2% *Dictocoryne profunda*.

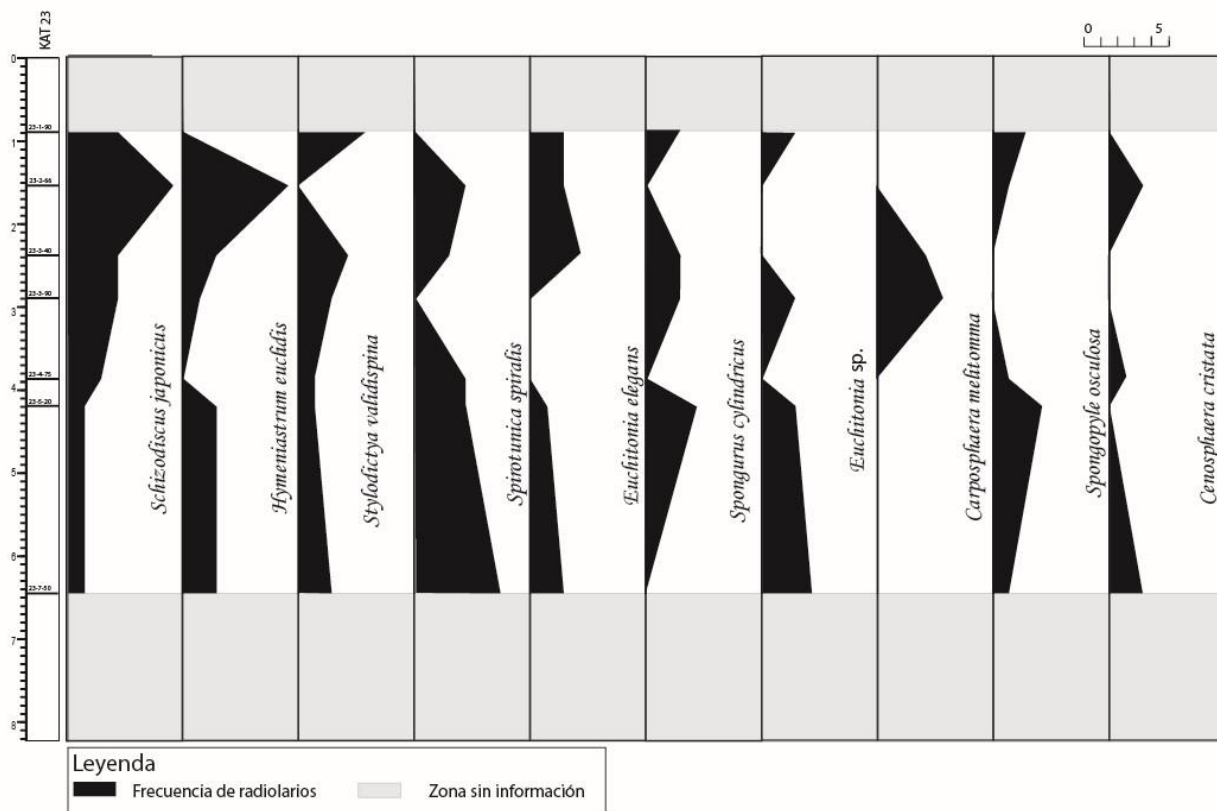
## ABUNDANCIA RELATIVA DE ESPECIES DE RADIOLARIOS DOMINANTES KAT22



**Figura 3.4** Abundancia relativa del núcleo KAT 22.

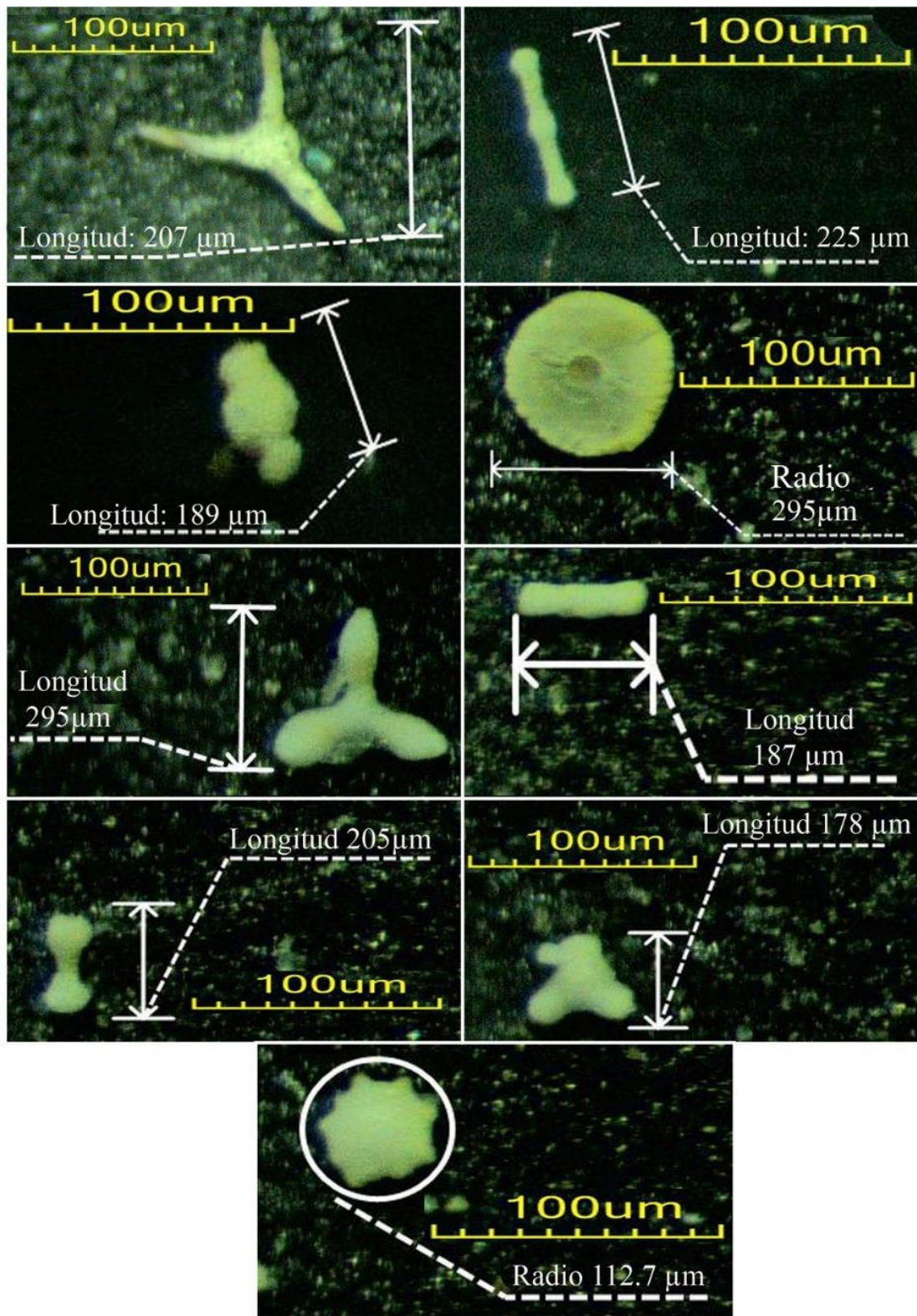
La abundancia relativa para núcleo KAT 23 determino 10 especies de más frecuentes las cuales son (figura 3.5): 9% *Schizodiscus japonicus*, 6% *Spirotunica spiralis*, *Stylodictya valdispina* y *Hymeniastrum euclidis*, 4% *Euchitonia sp.*, y *Euchitonia elegans* 3% *Spongurus cylindricus*, *Spongopyle osculosa*, *Cenosphaera cristata* y *Carposphaera melitomma*

## ABUNDANCIA RELATIVA DE ESPECIES DE RADIOLARIOS DOMINANTES KAT 23



**Figura 3.5** Abundancia relativa del núcleo KAT 23.

Por otro lado, se reportó 9 especies de Radiolarios nuevas, descritas en la figura 3.6, teniendo en cuenta el género que predomina en diversas especies es la *Euchitonia*.



**Figura 3.6** Especies nuevas de Radiolarios identificados y no reportados. a) *Euchitonia sp3.*, b) *Spongurus sp3.*, c) *Spongurus sp4.*, d) *Schizodiscus sp1.*, e) *Euchitonia spp2.*, f) *Spongurus sp1.*, g) *Euchitonia spp1.*, h) *Spongurus spp2.*, i) *Spongodiscus sp1.*

A continuación, se describe las nuevas especies de Radiolarios identificadas más abundantes de la figura 3.6.

***Euchitonia sp3.*** (figura 3.6-a)

Descripción:

Estructura circular central, enrejadas y discoidales; consta de dos brazos opuestos a un brazo impar recto y similares; cada brazo no posee un gran espesor y termina en una punta fina, lo que la diferencia de las otras especies 'euchitonia'.

Tamaño:

Longitud 207 micrometros

Comparación con otras especies:

m

Paleoambiente:

Marino

***Spongurus sp3.*** (figura 3.6-b)

Descripción:

Textura esponjosa y fina, con posible presencia de agujas prominentes; a diferencia de las otras especies de 'Spongurus', presenta una estructura circular en los brazos, pero no tan desarrollada, y una estructura circular en la parte central.

Tamaño:

Longitud 225 micrometros

Comparación con otras especies:

m

Paleoambiente:

Marino

***Spongurus sp4.*** (figura 3.6-c)

Descripción:

Estructura circular muy notoria en la parte central recubierta con el patagio, en los extremos de la especie con pequeños compartimentos ligeramente anchas. Se observa la presencia de agujas prominentes.

Tamaño:

Longitud 189 micrometros

Comparación con otras especies:

m

Paleoambiente:

Marino

***Schizodicus sp1.*** (figura 3.6-d)

Descripción:

Forma discoidal, con una cápsula central más oscura; no presenta espinas en su cuerpo. Se observa una superficie lisa, lo que la diferencia entre la especie 'Schizodicus japonicus'.

Tamaño:

Radio 295 micrometros

Comparación con otras especies:

m

Paleoambiente:

Marino

***Euchitonia spp2.*** (figura 3.6-e)

Descripción:

Estructura circular central, enrejadas y discoidales; consta de dos brazos opuestos a un brazo impar recto y similares; en la parte superior de cada brazo presenta una anchura que finaliza en punta. Se observa que el patagio cubre toda la estructura de la especie.

Tamaño:

Longitud 295 micrometros

Comparación con otras especies:

m

Paleoambiente:

Marino

***Spongurus sp1.*** (figura 3.6-f)

Descripción:

Textura esponjosa y fina, con posible presencia de agujas prominentes; a diferencia de las otras especies de 'Spongurus', no presenta una estructura circular en los brazos, si no que se mantienen finos y largos.

Tamaño:

Longitud 187 micrometros

Comparación con otras especies:

m

Paleoambiente:

Marino



***Euchitonia spp1.*** (figura 3.6-g)

Descripción:

Estructura circular central, enrejadas y discoidales; consta de dos brazos opuestos a un brazo impar recto y similares que, además, presenta una bifurcación en la parte superior, lo que la distingue de 'Euchitonia sp.'

Tamaño:

Longitud 205 micrometros

Comparación con otras especies:

m

Paleoambiente:

Marino

***Spongurus spp2.*** (figura 3.6-h)

Descripción:

Presenta un pequeño bulto en forma semiesférica en los extremos; posible presencia de agujas prominentes. A diferencia de la especie 'Spongurus cylindricus, esta especie no tiene una estructura circular en la parte central. Su textura esponjosa y fina.

Tamaño:

Longitud 178 micrometros

Comparación con otras especies:

m

Paleoambiente:

Marino

***Spongodiscus sp1.*** (figura 3.6-i)

Descripción:

Forma de disco esponjoso con pequeñas espinas formándose en el borde, lo que la diferencia de las otras especies.

Tamaño:

Radio 112.7 micrometros

Comparación con otras especies:

m

Paleoambiente:

Marino

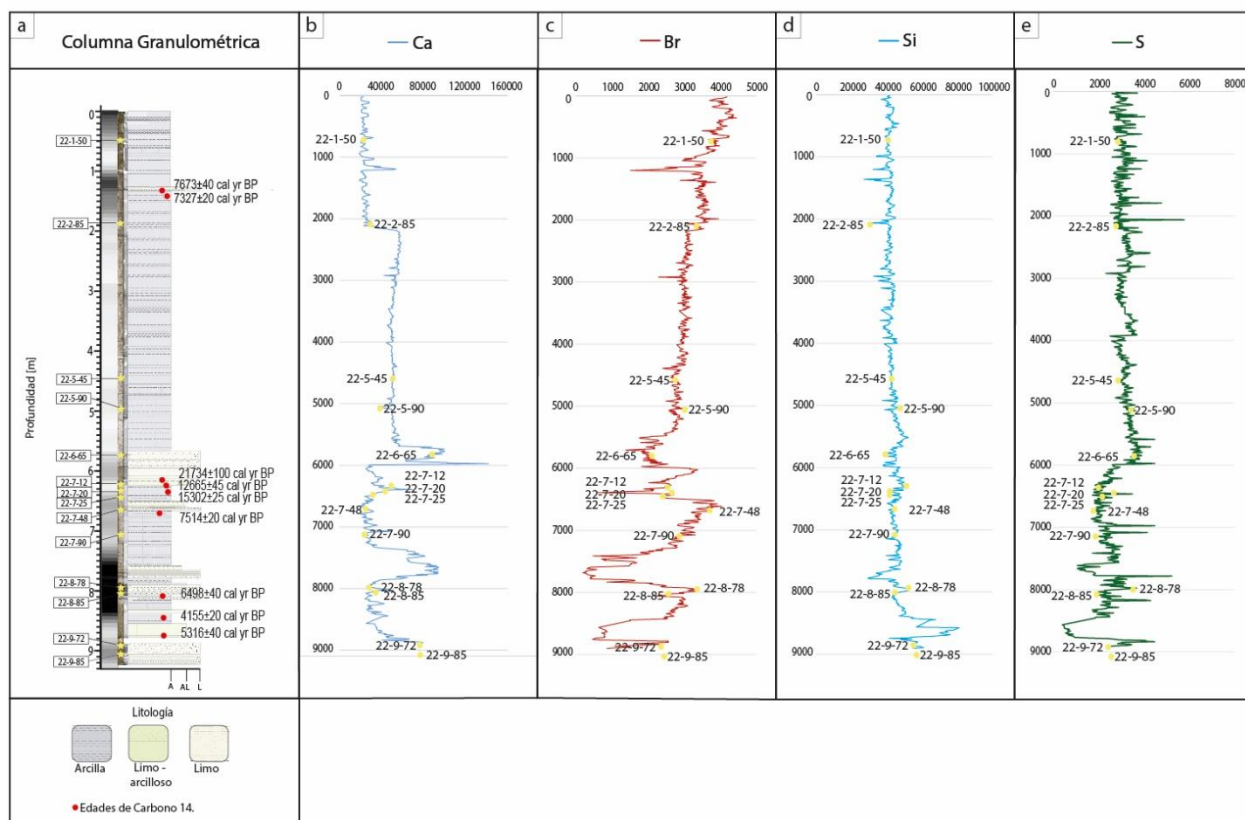
### **3.2 Análisis de Fluorescencia de rayos X (XRF)**

Los índices estadísticos multivariados fueron realizados para llevar a cabo el análisis cuantitativo micropaleontológico de Radiolarios de los núcleos sedimentarios de la fosa oceánica en base a la variación de las condiciones físicas, químicas y biológicas presentes relacionada con los eventos del fenómeno de “El Niño-Oscilación del Sur”.

El análisis geoquímico de fluorescencia de rayos x para los elementos Ca, Br, S, Si, Ti y Sr ayudaron a evaluar las fluctuaciones registradas en las muestras sedimentarias del núcleo KAT 22, determinando la productividad oceánica, la variación de calcio en la profundidad de la columna del núcleo, la cantidad de materia orgánica, el suministro de sedimentos, condiciones reductoras, etc.

En el análisis geoquímico se estableció puntos de control, donde no se registró correlaciones debido al escaso contenido de radiolarios, sin embargo, la presencia granulométrica del limo o arcilla registró un aumento del contenido porcentual del Sílice.

## Geoquímica KAT22



**Figura 3.7** Gráfica de los elementos geoquímicos

En el análisis geoquímico de los elementos S, Br, Si y Ca se determinó lo siguiente: Si existe una alta presencia de material silicificado, el contenido de Silíce, Bromo, Titanio y Calcio aumenta; por otro lado, el contenido de azufre disminuye. Estos elementos presentes en el núcleo KAT 22 son analizados a continuación.

El contenido de calcio (figura 3.7-b) del núcleo KAT 22, se presenta entre un rango del 20 al 100%, en donde el mínimo valor de calcio está presente a los 6.7 metros de profundidad en la muestra 22-7-48 en donde a través del índice de Shannon Wiener (figura 3.11-d) se evidencia una baja diversidad, es decir una baja productividad oceánica mientras que para el máximo contenido de calcio ubicado a los 5.9 metros de profundidad entre las muestras 22-7-48 y 22-7-90 el valor de diversidad aumenta a profundidad (figura 3.11-d), es decir existe un aumento de la productividad oceánica en este punto.

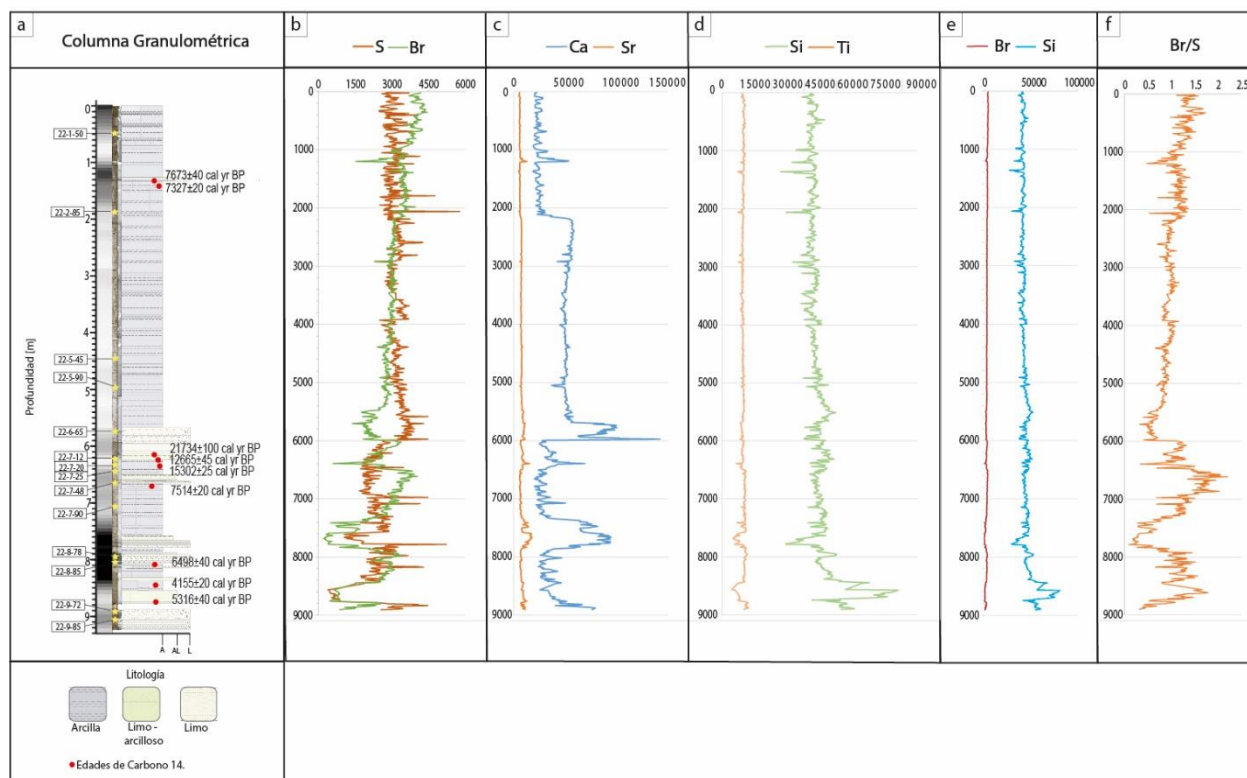
El contenido de bromo (figura 3.7-c) en el núcleo KAT 22 se presenta entre rangos del 1.1 al 100 %, el mínimo de bromo se ubica a los 7.8 metros de profundidad en la muestra

22-8-78 en donde la abundancia relativa es nula (figura 3.3) y las condiciones térmicas son altas (figura 3.11-b y figura 3.11-c), es decir a esta profundidad el contenido de materia orgánica es escaso presentando condiciones oligotróficas y existe una baja productividad. Por otro lado, el máximo de bromo en el núcleo se ubica a los 0.6 metros de profundidad en la muestra 22-1-50, en donde se registra una abundancia de la especie *Spirotunica spiralis* (figura 3.3) constatando una alta productividad de especies.

El contenido de sílice (figura 3.7-d) en el núcleo KAT 22 se presenta entre rangos del 37.5 al 100%, el mínimo de sílice se ubica a 1.5 metros de profundidad, en donde no se cuenta con muestras sedimentarias del núcleo. Sin embargo, en la columna estratigráfica (figura 3.7-a) registra presencia de arena la cual es útil para corroborar el escaso suministro de sedimentos terrígenos y es analizado cuidadosamente dependiente del contenido de radiolarios que estén presentes, ya que los radiolarios no se conservan en arenas. El valor máximo del contenido de sílice registrado se ubica a los 8.8 metros de profundidad, determinando a través de la columna estratigráfica (figura 3.7-a) el alto suministro de material silicificado proveniente del talud del cañón de Esmeraldas (Patarroyo & Martínez, 2013), aumentando los valores de los silicatos alterando los índices geoquímicos.

El contenido de azufre (figura 3.7-e) correspondiente al núcleo KAT 22 varía entre un rango del 0.41 al 100%, ubicándose el mínimo de azufre a los 8 metros de profundidad en la muestra 22-9-72 (figura 3.7-a), en donde el índice de Shannon (figura 3.11-d) y el índice de surgencia (figura 3.11-e) presenta valores bajos, es decir las condiciones no eran aptas para el desarrollo de Radiolarios. Sin embargo, el máximo de azufre en el núcleo ubicado a los 7.8 metros de profundidad, de acuerdo con la abundancia relativa (figura 3.3) la presencia de especies es moderada, es decir es apta para el desarrollo de microorganismos.

## Relación Geoquímica KAT22



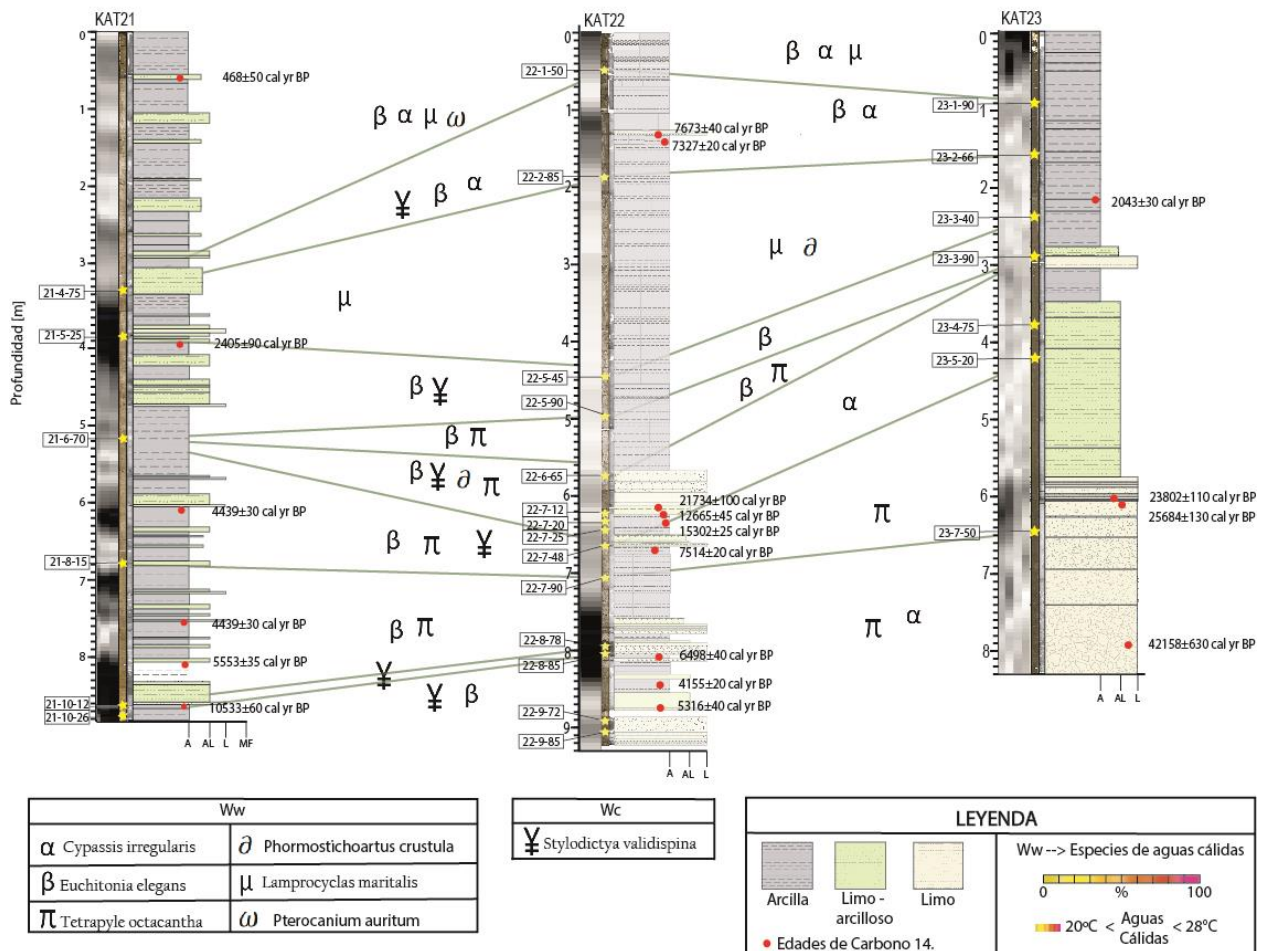
**Figura 3.8** Gráfica de la relación de los elementos geoquímicos.

En la figura 3.8 se observa las gráficas comparativas entre los elementos antes mencionados. La relación de los elementos Si-Ti y Br-Si respectivamente (figura 3.8-d) (figura 3.8-e) permite conocer que la presencia de sílice es mucho mayor en todo el núcleo a diferencia del Titano y el Bromo, con una discrepancia de 6.25% y 37.4% respectivamente. En cambio, para la relación geoquímica entre S-Br (figura 3.8-b) presentan valores similares entre rangos del 4 al 100 %, mientras que para la relación entre el Ca-Sr (figura 3.9-c) el contenido de calcio es mayor que el estroncio con un 70%.

### 3.3 Índices de Similitud de Jaccard

Los resultados obtenidos a través del cálculo del índice de similitud de Jaccards permitieron graficar el comportamiento de las especies de Radiolarios indicadoras de temperatura, zonificando según la presencia de la misma especie de Radiolario de aguas cálidas observadas en la figura 3.9. Las especies de Radiolarios indicadoras de aguas cálidas representativas para el índice de similitud de jaccard son las siguientes: Cypassis

irregularis, *Euchitonina elegans*, *Tetrapyle octacantha*, *Phormostichoartus crustula*, *Pterocanium auritum* y *Lamprocyclus maritilis* y el Radiolario indicador de aguas frías representativo es la especie *Stylodictya valdispina*.



**Figura 3.9** Gráfica de la relación del índice de similitud de Jaccard's entre los núcleos sedimentarios.

### 3.4 Asociaciones de Radiolarios en función de los Índices Multivariados.

Los índices estadísticos multivariados fueron realizados para llevar a cabo el análisis cuantitativo micropaleontológico de Radiolarios de los núcleos sedimentarios de la fosa oceánica en base a la variación de las condiciones físicas, químicas y biológicas presentes relacionada con los eventos del fenómeno de "El Niño-Oscilación del Sur".

El índice de temperatura de Radiolarios (RTI) fue calculado en base las especies de Radiolarios indicadores de Temperatura (Kamikuri et al., 2017), observada en la tabla

3.2. Las tablas 3.3, 3.4 y 3.5 se registran los valores obtenidos de los índices estadísticos multivariados para cada núcleo. Donde las temperaturas superiores a 25 grados Celsius fueron consideradas para especies de aguas cálidas y temperaturas inferiores a 20 grados Celsius fueron consideradas para especies de aguas frías.

**Tabla 3.2** Lista de especies reportadas de aguas frías y cálida.

Taxonomía de Radiolarios	Agua Fría	Agua Cálida	Autor
<i>Dictyocoryne Truncatum</i> (Ehrenberg)			(Kamikuri & Moore, 2017)
<i>Euchitonia elegans</i> (Ehrenberg)			(Nigrini, 1967)
<i>Euchitonia sp.</i> (Morley)			(Ordoñez, 2006)
<i>Hymeniastrum euclidis</i> (Haeckel)			(Matsuzaki et al., 2015)
<i>Spongaster tetras tetras</i> (Ehrenberg)			(Nigrini, 1967)
<i>Dictyocoryne profunda</i> (Ehrenberg)			(Kamikuri & Moore, 2017)
<i>Stylodicya validispina</i> (Jorgensen)			(Kamikuri & Moore, 2017)
<i>Heliodiscus asteriscus</i> (Haeckel)			(Haeckel, 1887)
<i>Cenosphaera cristata</i> (Haeckel)			(Zapata & Olivares, 2005)
<i>Hexalonche philosophica</i> (Haeckel)			(Zapata & Olivares, 2005)
<i>Spongocore puella</i> (Haeckel)			(Haeckel, 1887)
<i>Lamprocyclus maritalis ventricosa</i> (Nigrini)			(Zapata & Olivares, 2005)
<i>Pterocanium auritum</i> (Nigrini & Caulet)			(Nigrini & Caulet, 1992)
<i>Eucyrtidium acuminatum</i> (Ehrenberg)			(Nigrini, 1970)
<i>Cypassis irregularis</i> (Nigrini)			(Roger & Deckker, 2007)
<i>Didymocyrtis tetrathalamus</i> (Haeckel)			(Kamikuri & Moore, 2017)
<i>Stylochalamydium venustum</i> (Jorgensen)			(Kamikuri & Moore, 2017)
<i>Larcospira minor</i> (Jorgensen)			(Matsuzaki et al., 2015)
<i>Hexacontium laevigatum</i> (Haeckel)			(Molina, 1997)
<i>Actinomma aff. Leptodermum</i> (Jorgensen)			(Zapata & Olivares, 2005)
<i>Phormostichoartus crústula</i> (Caulet)			(Nigrini & Caulet, 1992)
<i>Eucyrtidium aderces</i> (Nigrini & Caulet)			(Nigrini & Caulet, 1992)
<i>Tetrapyle octacantha</i> (Muller)			(Muller, 1858)
<i>Zygocircus products</i> (Hertwing)			(Matsuzaki et al., 2015)
<i>Acrosphaera spinosa</i> (Haeckel)			(Nigrini, 1970)
<i>Cenosphaera reticulada</i> (Haeckel)			(Matsuzaki et al., 2015)
<i>Acanthodesmia</i> (Rogers & Deckker)			(Rogers & Deckker, 2007)
<i>Euchitonia triangulum</i> (Ehrenberg)			(Rogers & Deckker, 2007)
<i>Theocorys veneris</i> (Haeckel)			(Lazarus et al., 2008)
<i>Botrystrobilus aquilonaris</i> (Bailey)			(Nigrini, 1967)
<i>Sturnalis circularis</i> (Haeckel)			(Nigrini, 1967)

Agua cálida (> 25°C); Agua Fría (<20°C)

### 3.4.1 Núcleo KAT 21

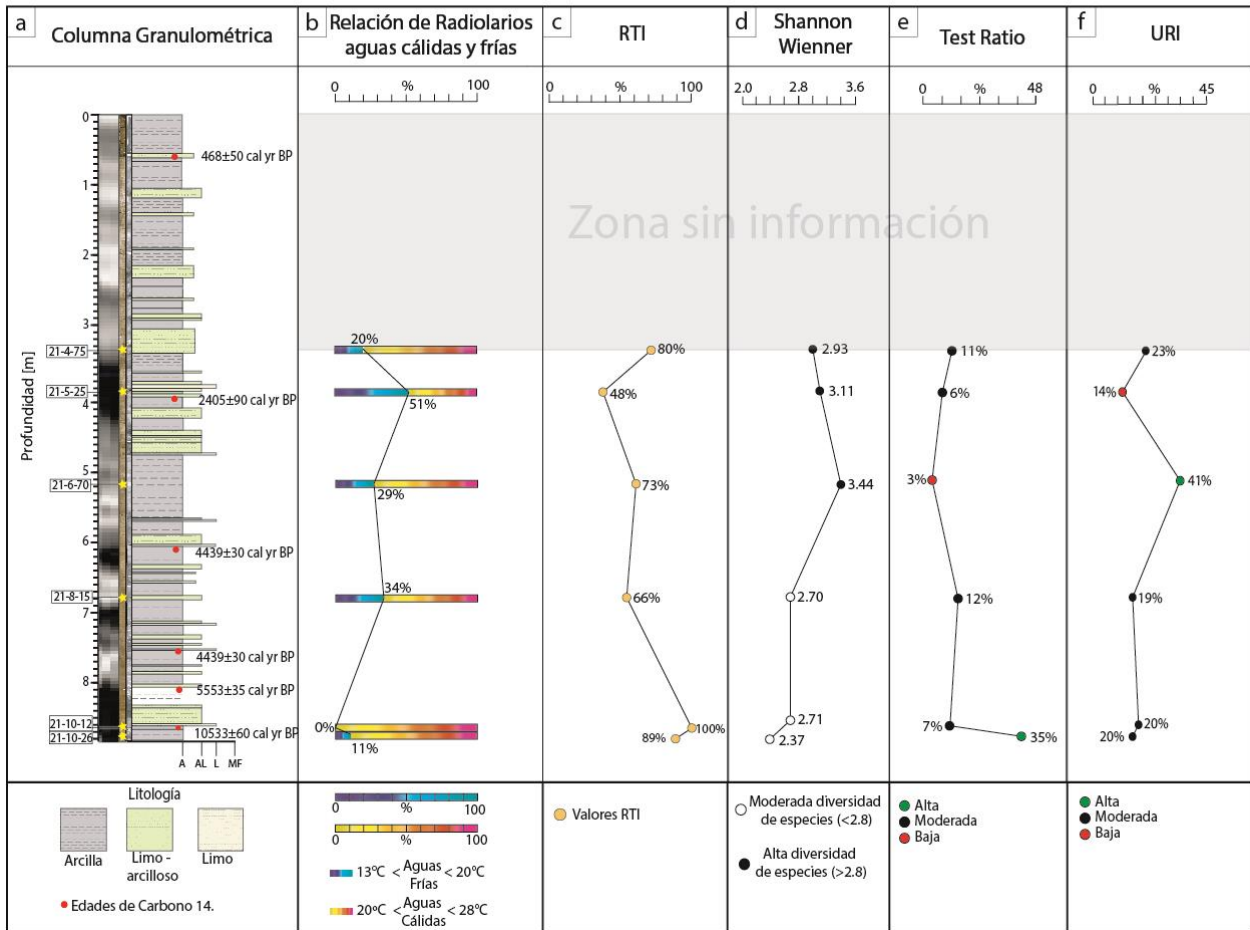
En la figura 3.10 se observan las gráficas de los índices multivariados en relación con la densidad de muestras que fueron tomadas en el núcleo KAT 21. El núcleo KAT 21 consta de 6 muestras y un total de 1405 Radiolarios. La figura 3.10-b se observa la relación de especies de aguas cálidas y frías, en la que predominan mayormente las especies de

aguas cálidas (20 a 28°C) en todo el núcleo y se ven pequeños pulsos de presencia de agua frías (13 a 20°C), siendo la muestra 21-5-25 la que presentan mayores especies de aguas frías, alcanzado un 50% y la muestra 21-10-12 presenta un 100% de especies de aguas cálidas.

En la tabla 3.3 se observan los valores del comportamiento de los índices multivariados observados en la figura 3.10. Respecto al índice de temperatura de Radiolarios (RTI) en la figura 3.10-c se evidencia una alta presencia de Radiolarios de agua cálida, sin embargo, no se evidencia presencia estadística de especies de aguas frías. En grafica 3.10-d se observa la tendencia alta de las especies de Radiolarios de aguas cálidas entre un rango del 48 al 100%, estos valores se respaldan en la curva granulométrica figura 3.10-a donde la muestra 21-6-70 presenta en su litología limo en donde se presenta mayor diversidad de especies de radiolarios. Se realizó una comparación entre las gráficas 3.10-b y 3.10-c en donde se evidencia que la muestra 21-5-25 presenta un RTI del 48% respaldando el pulso agua fría con un valor del 50% observado en la gráfica 3.10-a, por otro lado, la muestra 21-10-12 al presentar un valor del 100% de RTI existe la concordancia de la ausencia de pulso para esta muestra en la gráfica 3.10-b.



# KAT 21



**Figura 3.10** Columna granulométrica e índices estadísticos multivariados del KAT 21.

Los datos obtenidos del índice estadístico Shannon Wiener observado tanto en la gráfica 3.10-d y tabla 3.3 son valores superiores a 2 lo indica una alta diversidad de especies especialmente en las muestras 21-5-25 y 21-6-70, comparadas con la gráfica 3.10-c son secciones en las muestras estudiadas evidencian pulsos altos de especies indicadoras de aguas frías.

**Tabla 3.3** Índices estadísticos multivariados del KAT 21.

Índices	KAT 21					
	21-4-75	21-5-25	21-6-70	21-8-15	21-10-12	21-10-26
RTI (%)	80	48	73	66	100	89
Shannon Wiener	2.9	3.2	3,4	2.7	2.7	2.4
test ratio	11	6	3	12	7	35
URI (%)	23	14	42	19	20	20

En la tabla 3.3 se observa que para el índice de test ratio las 6 muestras analizadas presentan valores mayores a 1, esta tendencia es observada en gráfica 3.10-e categorizando a los Radiolarios estudiados en el orden de Espumelarios. Por otro lado, para índice de surgencia de Radiolarios (URI) la gráfica 3.10-f se obtuvieron valores de medios a bajos en un rango del 14 al 42, siendo la muestra 21-5-25 la que presenta la más baja surgencia, mientras que la muestra 21-6-70 alcanza una surgencia mediana teniendo en cuenta que ambas muestras presentan un alto valor de diversidad y un mediano a alto valor temperatura de agua cálida.

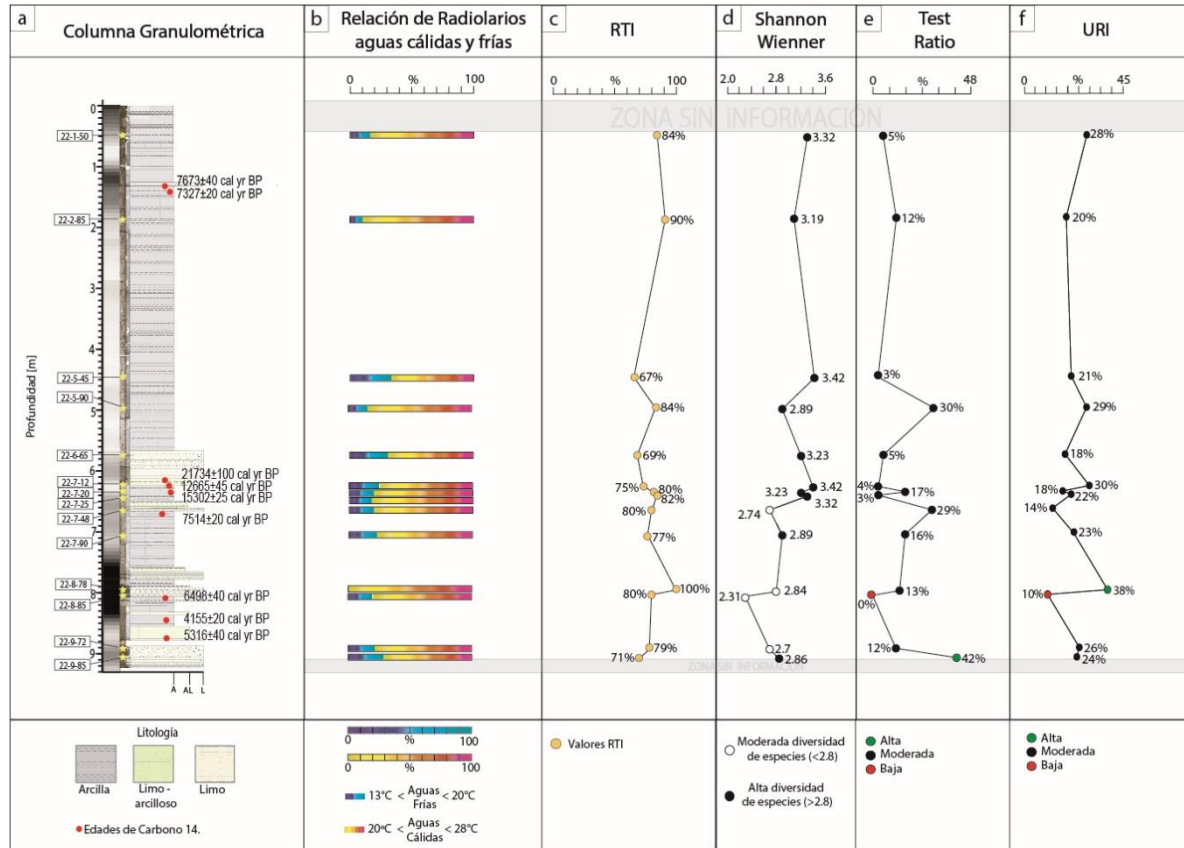
### 3.4.2 Núcleo KAT 22

Los índices estadísticos multivariados observados en la figura 3.11 refleja el comportamiento de los Radiolarios extraídos de las muestras del núcleo KAT 22. El núcleo KAT 22 consta de 13 muestras y un total de 3411 Radiolarios. En la figura 3.11-b se observa que dominan las especies de aguas cálidas (20 a 28°C) en todo el núcleo, sin embargo, se ven pulsos de presencia de agua frías (13 a 20°C) en porcentajes inferiores al 30%, con excepción en la muestra 22-8-78.

En la tabla 3.4 se observan la estadística de los índices multivariados graficados en la figura 3.11. El gráfico del índice de temperatura de Radiolarios (RTI) de la figura 3.11-c evidencia una alta presencia de Radiolarios de agua cálida entre un rango del 67 al 100 %. En la comparación realizada entre las gráficas 3.11-b y 3.11-c, la muestra 22-8-78 presenta un 100% de RTI, mientras que para las demás muestras el RTI se mantiene

alto presentando pequeños pulsos de especies de aguas frías guardando relación en los resultados obtenidos.

## KAT 22



**Figura 3.11** Columna granulométrica e índices estadísticos multivariados del KAT 22.

En el índice estadístico Shannon Wiener para el núcleo KAT 22 se obtuvieron los siguientes resultados registrados en la tabla 3.4, los valores obtenidos son superiores a 2 entre un rango (2.3 a 3.2) para aguas cálidas y un rango de (2.8 a 3.4 %) para aguas frías, determinando una alta diversidad para ambos tipos de eventos observados en la figura 3.11-d estos valores se constatan en la curva granulométrica (figura 3.11-a) en los valores altos de Shannon como se observa en la muestra 22-5-90 están presentes en mayormente en la litología. Por otro lado, la figura 3.11-e gráfica la tendencia de los valores obtenidos para el índice de test ratio, en donde las 13 muestras analizadas presentan valores mayores a 1, categorizando a los Radiolarios estudiados en el orden de Espumelarios.

**Tabla 3.4** Índices estadísticos multivariados del KAT 22.

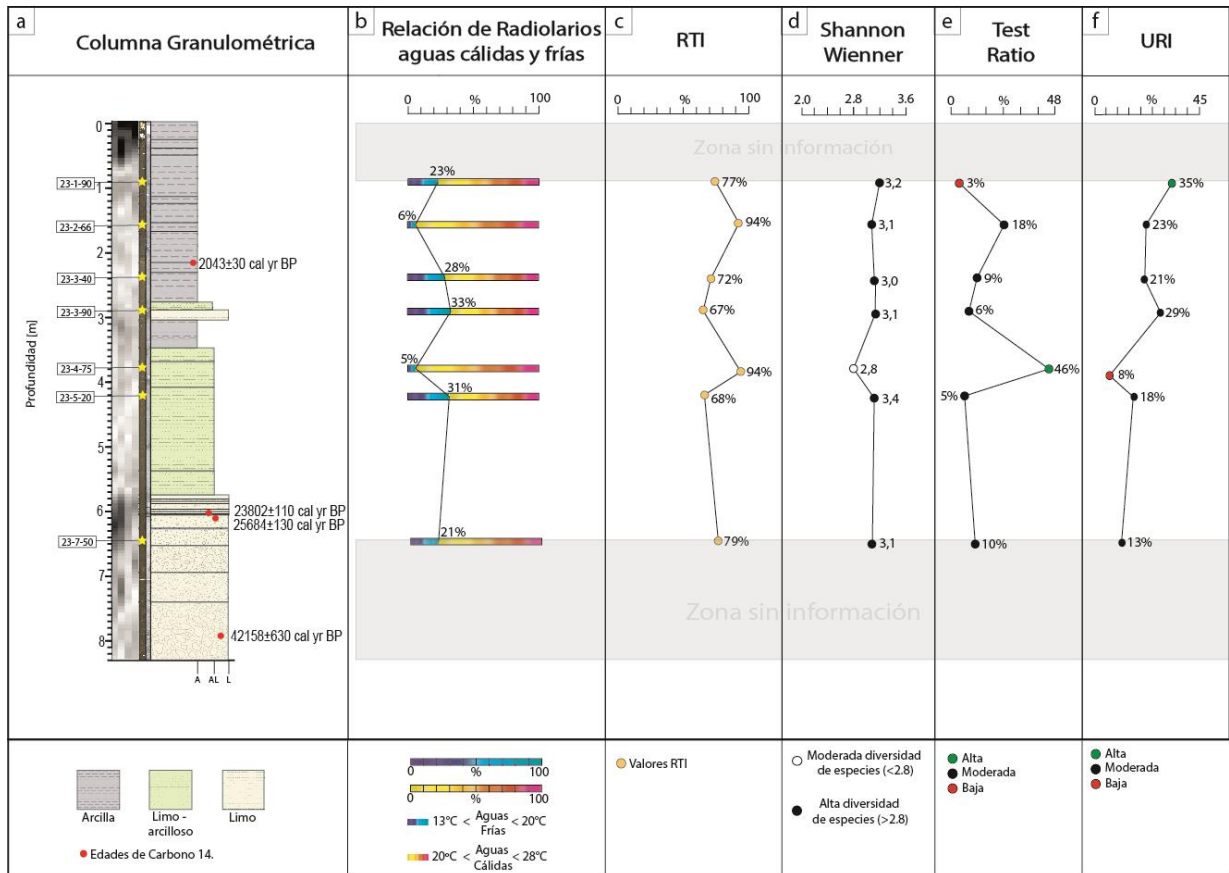
Índices	KAT 22													
	22-1-50	22-2-85	22-5-45	22-5-90	22-6-65	22-7-12	22-7-20	22-7-25	22-7-48	22-7-90	22-8-78	22-8-85	22-9-72	22-9-85
<b>RTI (%)</b>	84	90	67	84	69	74	80	82	80	77	100	80	79	71
<b>Shannon Wiener</b>	3.3	3.2	3.4	2.9	3.2	3.4	3.2	3.3	2.7	2.8	2.8	2.3	2.7	2.8
<b>Test ratio</b>	5	12	3	30	5	4	17	3	29	16	13	∞	12	42
<b>URI (%)</b>	28	20	21	29	18	30	18	22	14	23	38	10	25	24

El estudio estadístico de las especies Radiolarios indicadoras de surgencia (URI) analizadas en la figura 3.11-f presentan valores bajos en un rango del 10 al 38 % considerado una baja surgencia. Sin embargo, estos resultados guardan relación con el índice de temperatura de los Radiolarios, en donde se establece que si existe una alta surgencia, mayor será la abundancia de especies indicadoras de aguas frías, este análisis se observa entre las gráficas de la figura 3.11-b y 3.11-f.

### 3.4.3 Núcleo KAT 23

Los resultados de los índices estadísticos multivariados obtenidos son constatados en las gráficas de la figura 3.12 obtenidos de la densidad de muestras que fueron tomadas en el núcleo KAT 23. El núcleo KAT 23 consta de 7 muestras y un total de 2099 Radiolarios. En la figura 3.12-b se observa la relación de especies de aguas cálidas y frías, en la que tiene mayor dominio las especies de aguas cálidas (20 a 28°C). En el análisis del índice de temperatura de Radiolarios (RTI) graficado en la figura 3.12-c los datos obtenidos marcan una inclinación hacia las especies de Radiolarios indicadoras de aguas cálidas entre un rango del (67 a 94%), asociando la presencia de especies indicadoras de temperatura observadas en la figura 3.12-b.

# KAT 23



**Figura 3.12** Columna granulométrica e índices estadísticos multivariados del KAT 23.

La figura 3.12-d representa el comportamiento de los datos obtenidos para índice Shannon Wiener, registrado en la tabla 3.5 en donde los valores varían en rango de (2.8 a 3.5 %) estableciendo una alta diversidad de especies pertenecientes en el limo (figura 3.12-a), así mismo las muestras que presentan valores superiores a 2.8 para el índice de Shannon Wiener presentan un índice de surgencia (URI) mayor a 13 observado en la figura 3.12-f, guardando afinidad entre estos índices.

**Tabla 3.5** Índices estadísticos multivariados del KAT 23.

Índices	KAT 23						
	23-1-90	23-3-66	23-3-40	23-3-90	23-4-75	23-5-20	23-7-50
<b>RTI (%)</b>	77	94	72	67	94	68	79
<b>Shannon Wiener</b>	3.2	3.2	3.1	3.1	2.8	3.5	3.1
<b>Test ratio</b>	3	18	9	6	46	5	10
<b>URI (%)</b>	34	22	21	29	8	18	13

En la gráfica 3.12-e se observa, que las 7 muestras analizadas presentan valores mayores a 1, categorizando a los Radiolarios estudiados en el orden de Espumelarios.

### **3.5 Distribución faunística en la fosa norte de Ecuador**

Se identificó un patrón geográfico para la distribución faunística correspondiente al área en la que se sitúan los núcleos sedimentarios. En el Norte de la Fosa Ecuatoria entre 0°N y 80°W el comportamiento oceanográfico respecto a las velocidades de las corrientes subsuperficiales es escaso (López & Mojica, 2015), haciendo nulo el aporte de especies de surgencia para el núcleo KAT 23, el cual registra valores entre un rango del 8 al 34 %, sin embargo la diversidad de especies es mucho mayor debido al aporte de material pelágico y nutrientes para el desarrollo faunístico proveniente del cañón de Esmeraldas (Santos, 2015) registrando valores de diversidad entre 2.8 a 3.5 mucho mayores que los otros núcleos.

Por el contrario, El Sur de las costas ecuatorianas experimenta una convergencia de las corrientes y contracorrientes oceánicas del Pacífico en la latitud 0° (Casanova et al., 2015) sumado a la importancia que tiene la cordillera de Carnegie (Osorio et al., 2019) debido al relieve de la cordillera, si esta es mayor también lo será la energía causada por las corrientes subsuperficiales. Evidenciándose en el núcleo KAT 21 una alta surgencia entre un rango del 14 al 42% y núcleo KAT 22 con una moderada surgencia entre un rango del 10 al 38% a diferencia del núcleo KAT 23.

Por otro lado, los valores obtenidos de los índices de Temperatura y Test Ratio se relacionan con la fuerza de la corriente de Humboldt y lo estrecha que es la fosa ecuatoriana respectivamente. Es decir, la redireccionalidad de la corriente de Humboldt (Terán et al., 2021) genera un proceso de divergencia influyendo a la presencia de especies aguas frías y aguas cálidas debido al efecto Coriolis, por ello en el núcleo KAT 21 se observa (tabla 3.3) una predominancia de las especies de aguas cálidas >28°C, mientras que en el núcleo KAT 23 presenta pequeños pulsos de especies indicadoras de aguas frías debido a la disipación o la baja influencia de las contracorrientes.

Respecto a distribución paleogeográfica basada en el índice de Test Ratio, en general hay un aporte muy marcado de Espumelarios, debido a la cercanía que mantiene los núcleos con la costa ecuatoriana, razón suficiente para que los radiolarios pertenezcan a zonas neríticas. En otras palabras, la influencia nerítica está relacionada con eventos cálidos debido a la fuerza de la corriente de Humboldt que, al debilitarse esta zona tiene una influencia de la corriente de Panamá y las corrientes litorales llegando a la costa ecuatoriana provocando una influencia nerítica en la costa.

Las 9 especies identificadas como “No reportadas” presentan una mayor incidencia en los núcleos ubicados al Sur (KAT 21 y KAT 22) que los encontrados en las muestras del núcleo KAT 23 ubicado al Norte de la fosa ecuatoriana. Es decir, las especies *Euchitonia sp3.*, *Spongurus sp3.*, *Spongurus sp4.*, *Schizodicus sp1.*, *Euchitonia spp2*, *Spongurus sp1.*, *Euchitonia spp1.*, *Spongurus spp2.* y *Spongodiscus sp1.* representan al grupo de especies indicadoras de surgencia y temperatura ocurrida por la influencia entre la convergencia de corrientes específicamente en la latitud 0° y periodo cálido dominante.

# CAPÍTULO 4

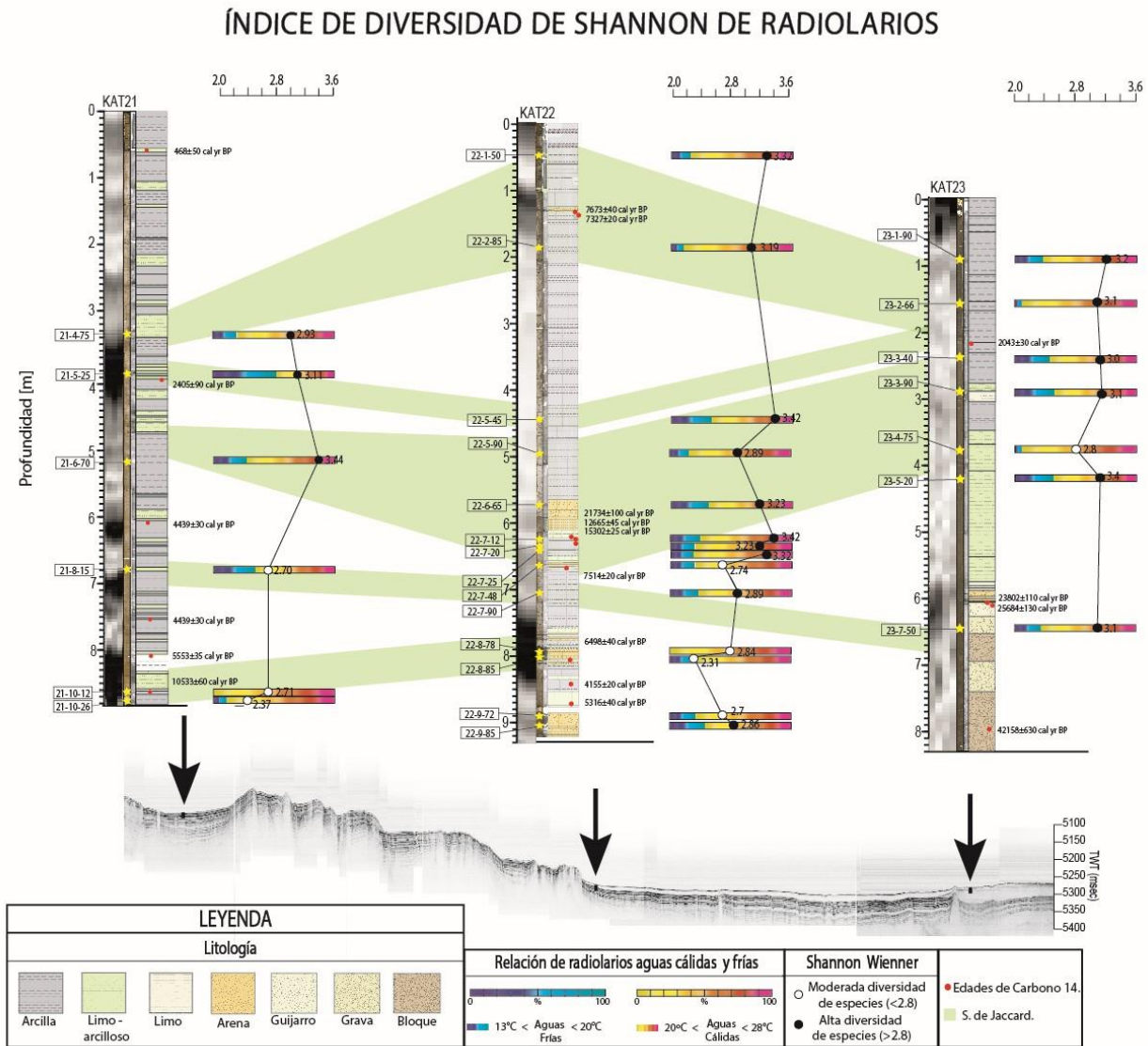
## 4. DISCUSIÓN

La presencia de Radiolarios permitió determinar patrones del comportamiento oceanográfico y eventos climáticos (Levinton, 1995). A través de los resultados obtenidos se interpretaron periodos cálidos y fríos registrados hace 7 mil de años. Los diversos factores que intervinieron en el comportamiento de la redistribución de los nutrientes (Moncayo et al., 2010) en el océano se ven evidenciados en los eventos cálidos “El Niño” mayores a 25°C (Provost et al., 2006) y eventos fríos “La Niña” inferiores a 20°C (Haslett, 2002) sujetos a los agentes de temperatura, surgencia, diversidad de especies y la geoquímica de los sedimentos. Tales eventos están vinculados a la presencia Radiolarios indicadores de temperatura (cálidas y frías) del Pacífico Ecuatorial Oriental y a las corrientes Oceánicas subterráneas (Humboldt y Cromwell).

Las correlaciones realizadas en función del índice de similitud de Jaccard’s y los índices estadísticos multivariados establecieron patrones de fluctuación en la abundancia de especies dominantes para la reconstrucción de los periodos cálidos y fríos, los cuales fueron generalmente similares entre los tres núcleos estudiados.



## 4.1 Correlación entre los índices multivariados.



**Figura 4.1** Correlación entre el índice Multivariado

La siguiente correlación es comparada con dos estudios realizados por Kamikuri en el Océano Pacífico Ecuatorial Oriental para validar y registrar la metodología implementada en el presente proyecto integrador en base a los patrones de radiolarios reportados. El primer estudio se ubicó a los 12°04.088'N, 142°09.708'W (profundidad del agua 5116 m) noroeste del Pacífico y el segundo a los 5°18.735' N, 126°17.002' W (profundidad del agua, 4327.5 m) norte del Pacífico.

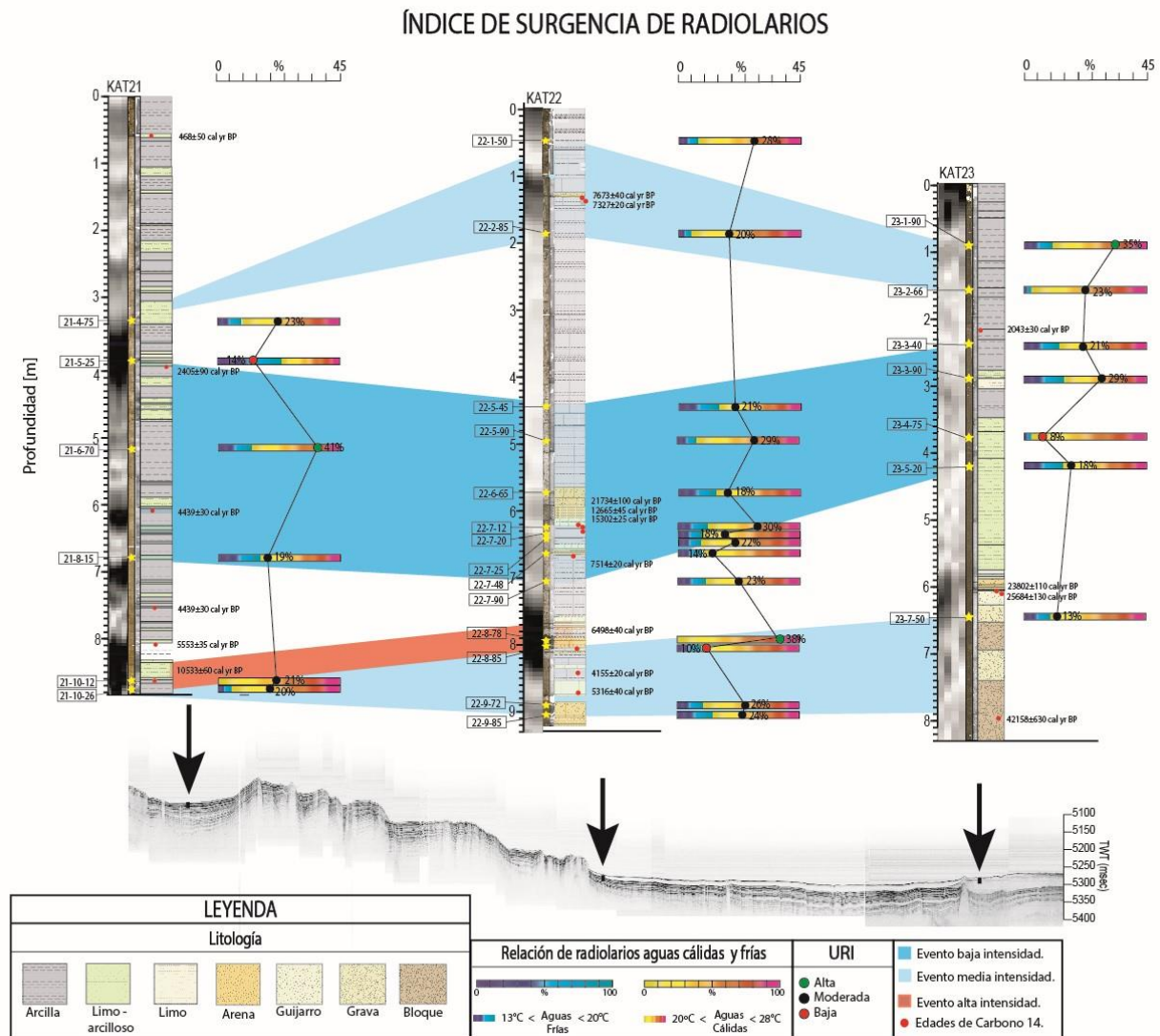
De acuerdo con los datos obtenidos para el Holoceno, el índice de Shannon Wiener durante los últimos 7 mil años ha descendido en comparación con lo reportado por

Kamikuri. Las especies abundantes de radiolarios como: *Stylodictya valdispina*, *Spongodiscus resurgens*, *Collosphaera sp1*, *Dictyocoryne* y *Hexacontium sp* están presentes en la abundancia obtenida en el norte y noreste del Pacífico. Es decir, la abundancia y la diversidad de especies de radiolarios al norte del Pacífico alcanza un valor del 20% y rango entre el (4.3 >x>3) para la diversidad, en el noreste la abundancia presenta un alcance del 10% y rango del (3.3 >x>3.8) para la diversidad, mientras que frente a las costas de Ecuador se presenta una abundancia de hasta el 4% y una diversidad entre un rango del (3.6 >x> 2.8) debido a la mezcla entre corrientes Subsuperficiales y a la Contracorriente Ecuatoriana.

Es decir, el Holoceno presenta fluctuaciones mayores de periodos cálidos a diferencia de lo propuesto por Kamikuri debido a la ubicación, ya sea por el aporte de nutrientes provenientes del Cañón de Esmeraldas (Cerano et al., 2016) como es el caso del presente estudio o la escasa presencia de la corriente de “El Niño” en el Norte de Pacífico. El 4% de abundancia y el 3.8% de diversidad de radiolarios registrados en la fosa ecuatoriana corresponde a eventos fríos, siendo el núcleo KAT 23 el que presenta mayor aporte de nutrientes debido a su proximidad de 20 km con el cañón de Esmeraldas, caso contrario ocurre con las muestras obtenidas del núcleo KAT 21 al ubicarse a 100 km del cañón de Esmeraldas, presentando una abundancia y diversidad baja.

En la figura 4.1 se observa la relación entre el índice de Jaccard, Shannon Wiener y temperatura de Radiolarios. Las muestras con bajos pulsos de especies indicadoras de aguas frías, con dominancia de especies de aguas cálidas están representadas por la especie de radiolario *Collosphaera sp1*. perteneciente a aguas oligotróficas con índice de Shannon entre rango de (2.8 >x>2) considerado alto, a diferencia de las muestras que presentan pulsos fuertes de especies de aguas frías representada por la especie de radiolarios *Stylodictya valdispina* perteneciente a regiones de latitudes bajas y taxones cosmopolitas con índices de Shannon de (3.6 >x> 2.8).

## 4.2 Asociaciones de Radiolarios

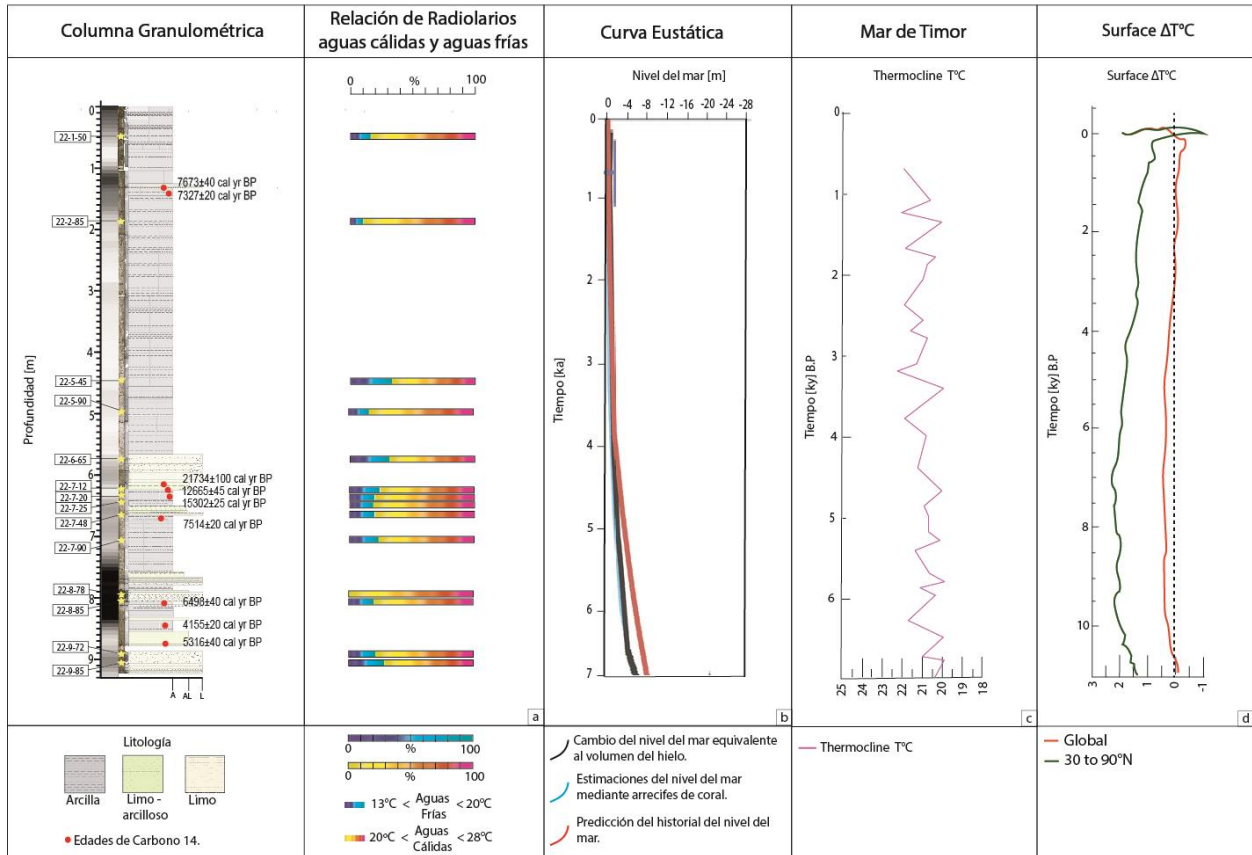


**Figura 4.2** Correlación de las especies de Radiolarios indicadoras de temperatura

La asociación de Radiolarios determinada a través de los 3 periodos cálidos (bajo, medio y alto) identificados se basaron en la cantidad de especies indicadoras de aguas cálidas (Haslett, 1992) registradas en las muestras de los núcleos, evidenciando el calentamiento global. La figura 4.2 muestra el comportamiento de la asociación de Radiolarios en relación con las especies indicadoras de temperatura y surgencia, infiriendo que desde hace 7 mil años hasta el 2012 ocurrió un prolongado periodo cálido con pequeños pulsos periodos fríos variando la termohalina del Pacífico Oriental Ecuatorial evidenciada a través de rasgos paleontológicos (Radiolarios) en comparación con la bibliográfica de Kamikuri.

### 4.3 Análisis del núcleo KAT 22 con otros autores

## KAT22



**Figura 4.3** Interpretación del comportamiento de las curvas eustáticas, termoclina, temperatura global y Mounder con el núcleo KAT 22. (Jakobsson et al., 2017; Rosenthal et al., 2013)

La figura 4.3-a correspondiente a la granulometría permite observar que no se cumple el principio de superposición de los estratos (Helmut & Herbert, 2014), de acuerdo con la edad del carbono 14 los estratos antiguos se superponen a los estratos más nuevos, lo cual es incorrecto. Por ende, estos depósitos corresponderían a materiales retrabajados, porque al tomar en cuenta material proveniente de un evento de levantamiento, este material retrabajado no es coherente con las edades proporcionadas del C-14. Por ello únicamente se tomó como dato las edades verdaderas que son las hemipelágicas correspondiente entre los 4 mil a 5 mil metros.

La figura 4.3-c muestra como la curva eustática varía al nivel del mar (Jakobsson et al., 2017) en los últimos 20 000 años, en donde se tomó en cuenta únicamente curva negra representando el cambio del nivel del mar equivalente al volumen de hielo y la curva roja representando la predicción del historial del nivel del mar usando el modelo ICE-5G

(VM2) en el Estrecho de Bering, estas curvas en comparación con las especies indicadoras de aguas frías y cálidas del Pacífico ecuatorial Oriental no varía entre los primeros 6 metros de la profundidad del núcleo, sin embargo presenta una variación después de los 6 metros profundidad ubicando a esta sección sobre el nivel de mar a -4 metros por lo que la presencia de Radiolarios en esta sección es baja.

La figura 4.3-d muestra la variación de la temperatura del agua de termoclina (TWT) derivada de Mg/Ca de sitios en el mar de Timor (Rosenthal et al., 2013) en comparación con las especies indicadoras de aguas frías y cálidas del Pacífico ecuatorial Oriental relacionando los eventos fríos y cálidos identificados con semeja a las temperaturas mostradas entre (21.5 a 25 °C).

La figura 4.3-e muestra la varia temperatura global (Rosenthal et al., 2013) durante el Holoceno, en donde la curva naranja representa curva global entre los 30°N a 90°S, mientras que la curva verde representa las anomalías de temperaturas superficiales en el mar de Timor comparada con las especies indicadoras de aguas frías y cálidas del Pacífico ecuatorial Oriental evidencia que para la curva global entre los 30°N a 90°S la temperatura ha disminuido mientras que la curva de anomalías se ajusta más al comportamiento del registro de Radiolarios de aguas cálidas.

# CAPÍTULO 5

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 Conclusiones

En el presente proyecto integrador se analizó el comportamiento de las especies de Radiolarios y su relación con agentes que intervienen en la redistribución del sedimento marino debido a los diversos eventos cálidos y fríos con la finalidad de reconstruir las condiciones ambientales y oceánicas de los últimos 7 mil años en el Pacífico Ecuatorial Oriental.

Las principales conclusiones que se derivan son:

- Se identificaron 6915 Radiolarios Polycistinidos de los sedimentos pelágicos marinos de la fosa oceánica ecuatoriana, considerando únicamente 23 especies de Radiolarios clasificadas entre 14 reportadas por Boltovskoy, Nigrini, Haeckel y Ehrenberg consideradas las más abundantes entre los tres núcleos y 9 no reportadas incluidas a nivel genérico, tales especies de acuerdo con sus características morfológicas correspondiente al orden Espumelario determinaron que la zona de estudio pertenece a zonas neríticas.
- Los patrones paleoceanográficos se obtuvieron a través de los índices estadísticos multivariados obtenidos determinando las especies indicadoras correspondientes a aguas cálidas y frías, estableciendo que mientras haya presencia de especies indicadoras de aguas frías incrementa la diversidad de especies, aporte de nutrientes y material pelágico; caso contrario mientras exista aumento de especies indicadoras de aguas cálidas existe un aumento en la surgencia.
- Las correlaciones establecidas para el índice de similitud Jaccard's en relación con cada uno de los índices estadísticos multivariados y abundancia relativa para los núcleos sedimentarios KAT21, KAT22, KAT23 permitieron inferir que la investigación abarca periodos intensos a medios de eventos cálidos sustentados por las especies indicadoras de aguas cálidas observados en las distintas gráficas

de los índices estadísticos, a su vez este fuerte evento cálido presenta pequeños pulsos de eventos fríos de baja intensidad que ha aumentado el suministro de sedimentos pelágicos a la fosa oceánica apoyado al registro de especie indicadoras de aguas frías obtenidas de las muestras sedimentarias.

- El núcleo KAT 21 ubicado al Sur del Pacífico Ecuatorial Oriental registra datos del índice de surgencia altos, entre un rango del 14 al 42% puesto que está zonificado en un sector donde existe una alta interacción entre las corrientes de Humboldt y Cromwell. Por otro lado, la diversidad es baja entre un rango de 2.4 a 3.4 % por el escaso aporte de material silíceo.
- El núcleo KAT 22 ubicado a 100 km de las costas de Esmeraldas reporta una surgencia mediana de 10 a 38 % y una diversidad baja del 2.3 al 3.4 % debido a su lejanía con el cañón de Esmeraldas. No obstante, el test ratio registra valores altos entre un rango del 3 al 100% permitiendo conocer que el bajo aporte de nutrientes proviene de la cordillera de Carnegie relacionado a la zona neríticas del núcleo.
- El núcleo KAT 23 ubicado al norte de la fosa ecuatorial cerca de las costas de Esmeraldas presenta una alta diversidad de especies calculada entre 2.8 a 3.5 % debido al suministro de nutrientes próximo al cañón de Esmeraldas, sin embargo, el índice de surgencia analizado es bajo entre 8 a 34 %, a consecuencia de que la ubicación del núcleo es lejana a la interacción entre las corrientes subsuperficiales.

## **5.2 Recomendaciones**

- Planificar una distribución de muestreos con intervalo sistemático centimétricos que serán analizadas en futuras campañas de extracción de núcleos, para llegar a los resultados óptimos en las correlaciones que se desean realizar.
- Continuar con el estudio de Radiolarios orientado a los eventos climáticos para definir periodos de retorno en los Fenómeno de El Niño Oscilación del Sur e identificar los PDO (Pacific Decadal Oscillation).

- Usar estereoscopio con aumento de 100X para una correcta identificación, descripción y evidencia fotográfica de los rasgos morfológicos de los Radiolarios estudiados.
- Validar las 9 especies nuevas no reportadas al Museo de Ciencias Naturales estadounidense como aporte de hallazgos faunísticos micropaleontológicos del Pacífico Ecuatorial Oriental de relevancia para el ámbito científico.



# CAPÍTULO 6

## 6. Referencias

- Afanasieva, M. S., & Amon, E. O. (2006). Biotic crises and stages of radiolarian evolution in the Phanerozoic. *Paleontological Journal*, 40(4), S453–S467. <https://doi.org/10.1134/S0031030106100054>
- Albanesi, G. L., & Bergström, S. M. (2010). Early–Middle Ordovician conodont paleobiogeography with special regard to the geographic origin of the Argentine Precordillera: A multivariate data analysis. In *The Ordovician Earth System*. Geological Society of America. [https://doi.org/10.1130/2010.2466\(08\)](https://doi.org/10.1130/2010.2466(08))
- Arrhenius, G. (1953). Sediment Cores from the East Pacific. *Geologiska Föreningen i Stockholm Förhandlingar*, 75(1), 115–118. <https://doi.org/10.1080/11035895309454862>
- Ayón, P., Criales-Hernandez, M. I., Schwamborn, R., & Hirche, H.-J. (2008). Zooplankton research off Peru: A review. *Progress in Oceanography*, 79(2–4), 238–255. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2008.10.020>
- Barron, J. A. (1992). Pliocene paleoclimatic interpretation of DSDP Site 580 (NW Pacific) using diatoms. *Marine Micropaleontology*, 20(1), 23–44. [https://doi.org/10.1016/0377-8398\(92\)90007-7](https://doi.org/10.1016/0377-8398(92)90007-7)
- Benway, H. M., Mix, A. C., Haley, B. A., & Klinkhammer, G. P. (2006). Eastern Pacific Warm Pool paleosalinity and climate variability: 0-30 kyr. *Paleoceanography*, 21(3). <https://doi.org/10.1029/2005PA001208>
- Bilek, S. (2010). Invited review paper: Seismicity along the South American subduction zone: Review of large earthquakes, tsunamis, and subduction zone complexity. *Tectonophysics*, 495(1–2), 2–14. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2009.02.037>
- Boltovskoy, D., Anderson, O. R., & Correa, N. M. (2017). Radiolaria and Phaeodaria. In *Handbook of the Protists* (pp. 731–763). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-28149-0\\_19](https://doi.org/10.1007/978-3-319-28149-0_19)
- Boltovskoy, & Jankilevih. (1985). *Radiolarian distribution in East Equatorial Pacific Plankton*.
- Bureau Meteorology. (2023). *Weekly sea surface temperatures*. <http://www.bom.gov.au/climate/enso/#tabs=Pacific-Ocean&pacific=Sea-surface>

- Calahorrano B., A., Sallarès, V., Collot, J.-Y., Sage, F., & Ranero, C. R. (2008). Nonlinear variations of the physical properties along the southern Ecuador subduction channel: Results from depth-migrated seismic data. *Earth and Planetary Science Letters*, 267(3–4), 453–467. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2007.11.061>
- Cane, M. A. (1998). A Role for the Tropical Pacific. In *New Series* (Vol. 282, Issue 5386). <https://www.jstor.org/stable/2897767>
- Casanova Rosero, R. F., Suárez Vargas, N. P., & Zambrano Ortiz, M. M. (2015). Valoración de algunas variables fisicoquímicas indicadoras de la calidad del agua en las principales bahías de la costa Pacífica colombiana-2009. *Boletín Científico CIOH*, 33, 195–214. <https://doi.org/10.26640/22159045.286>
- Casey, R. E. (1972). Neogene radiolarian biostratigraphy and paleotemperatures: Southern California, the experimental mohole, antarctic core E 14-8. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 12(1–2), 115–130. [https://doi.org/10.1016/0031-0182\(72\)90009-0](https://doi.org/10.1016/0031-0182(72)90009-0)
- Castillo, A., Valdés, J., Sifeddine, A., Reyss, J., Bouloubassi, I., & Ortlieb, L. (2017). Changes in biological productivity and ocean-climatic fluctuations during the last ~ 1.5 kyr in the Humboldt ecosystem off northern Chile (27°S): A multiproxy approach. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 485, 798–815. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2017.07.038>
- CCCP (Centro Control Contaminación del Pacífico). (2002). *La corriente de Cromwell durante el fenómeno de la Niña de 1996 y el fenómeno de El Niño de 1997*.
- Cerano, Villanueva, Vázquez, Cervantes, Esquivel, Guerra, & Z Fulé. (2016). Régimen histórico de incendios y su relación con el clima en un bosque de *Pinus hartwegii* al norte del estado de Puebla, México. *Bosque (Valdivia)*, 37(2), 389–399. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002016000200017>
- Collot, J., Charvis, P., Gutscher, M., & Operto, S. (2002). Exploring the Ecuador-Colombia Active Margin and Interplate Seismogenic Zone. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 83(17), 185. <https://doi.org/10.1029/2002EO000120>
- Collot, J., Michaud, F., Alvarado, A., Marcaillou, B., Sosson, M., Ratzov, G., Migeon, S., Calahorrano, A., & Pazmino, A. (2009). *Vision general de la morfología submarina del margen convergente de Ecuador-Sur de Colombia: implicaciones sobre la transferencia de masa y la edad de la subduccion de la Cordillera de Carnegie*.

- Combes., Caulet., & Tribovillard. (2005). Monitoring the variations of the Socotra upwelling system during the last 250 kyr: A biogenic and geochemical approach. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 223(3–4), 243–259. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2005.04.007>
- de la Cuadra. (2010). Comportamiento de las capturas de peces pelágicos pequeños en relación con la temperatura durante el 2004. *Revista Ciencias Del Mar y Limnología*, 1–8.
- de Wever, P., Baudin, F., Azéma, J., & Fourcade, E. (1995). Radiolarians and Tethyan Radiolarites from Primary Production to their Paleogeography. In *The Tethys Ocean* (pp. 267–318). Springer US. [https://doi.org/10.1007/978-1-4899-1558-0\\_9](https://doi.org/10.1007/978-1-4899-1558-0_9)
- Dolven. (2021). *Radiolaria.org*. <https://radiolaria.org/>
- Dong, B. (2005). Asymmetry between El Niño and La Niña in a Global Coupled GCM with an Eddy-Permitting Ocean Resolution. *Journal of Climate*, 18(16), 3373–3387. <https://doi.org/10.1175/JCLI3454.1>
- Dzulkaflī, M. A., Leman, M. S., & Khor, W. C. (2017). Penemuan Zon Himpunan Pseudoalbaillella globosa (radiolaria) di Pos Blau, Baratdaya Kelantan, Semenanjung Malaysia dan Implikasinya terhadap Biostratigrafi Radiolaria. *Sains Malaysiana*, 46(12), 2349–2357. <https://doi.org/10.17576/jsm-2017-4612-11>
- Fiedler, P., & Talley, L. (2006). Hydrography of the eastern tropical Pacific: A review. *Progress in Oceanography*, 69(2–4), 143–180. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2006.03.008>
- GEBCO. (2023). *GEBCO data download*. <https://download.gebco.net/>
- Gebhardt, H., Sarnthein, M., Grootes, P., Kiefer, T., Kuehn, H., Schmieder, F., & Röhl, U. (2008). Paleonutrient and productivity records from the subarctic North Pacific for Pleistocene glacial terminations I to V. *Paleoceanography*, 23(4), n/a-n/a. <https://doi.org/10.1029/2007PA001513>
- Google Earth. (2023). *Google Earth Online*. <https://www.gosur.com/map/?q=google+earth+online&lang=es>
- Gwendoline, M., Moreira, D., Reboul, G., Annenkova, V., Galindo, J., Bertolino, P., López, A., Jardillier, L., & López, P. (2021). Environmental drivers of plankton protist communities along latitudinal and vertical gradients in the oldest and deepest freshwater lake. *Environmental Microbiology*, 23(3), 1436–1451. <https://doi.org/10.1111/1462-2920.15346>

- Harte, J., Kitzes, J., Newman, E. A., & Rominger, A. J. (2013). Taxon Categories and the Universal Species-Area Relationship. *The American Naturalist*, 181(2), 282–287. <https://doi.org/10.1086/668821>
- Haschke, M. (2006). The Eagle III BKA system, a novel sediment core X-ray fluorescence analyser with very high spatial resolution. *Geological Society, London, Special Publications*, 267(1), 31–37. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.2006.267.01.02>
- Haslett. (2002). *Quaternary Environmental Micropalaeontology*.
- Haslett. (2003). UPWELLING-RELATED DISTRIBUTION PATTERNS OF RADIOLARIANS IN HOLOCENE SURFACE SEDIMENTS OF THE EASTERN EQUATORIAL PACIFIC. *Revista Española de Micropaleontología*, 35(3), 365–381.
- Haslett, S. (1992). Early Pleistocene glacial-interglacial radiolarian assemblages from the eastern equatorial Pacific. In *Journal of Plankton Research* (Vol. 14, Issue 11). <http://plankt.oxfordjournals.org/>
- Haslett, S. (1995). Mapping Holocene upwelling in the eastern equatorial Pacific using Radiolaria. *Holocene*, 5(4), 470–478. <https://doi.org/10.1177/095968369500500410>
- Hau, N., Sano, M., Nakatsuka, T., Chen, S., & Chen, I. (2023). The modulation of Pacific Decadal Oscillation on ENSO-East Asian summer monsoon relationship over the past half-millennium. *Science of The Total Environment*, 857, 159437. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159437>
- Helmut, & Herbert. (2014). superposition principle. In *Dictionary Geotechnical Engineering/Wörterbuch GeoTechnik* (pp. 1351–1351). Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-41714-6\\_199018](https://doi.org/10.1007/978-3-642-41714-6_199018)
- Hernández, I., Boltovskoy, D., Kruglikova, S., & Cortese, G. (2020). A new radiolarian transfer function for the Pacific Ocean and application to fossil records: Assessing potential and limitations for the last glacial-interglacial cycle. *Global and Planetary Change*, 190. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2020.103186>
- Hernández, Landaeta, & Castillo. (2019). Effect of ENSO on the distribution and concentration of catches and reproductive activity of anchovy *Engraulis ringens* in northern Chile. *Fisheries Oceanography*, 28(3), 241–255. <https://doi.org/10.1111/fog.12405>
- Higginson, M. (2019). Geochemical Proxies (Non-Isotopic). In *Encyclopedia of Paleoclimatology and Ancient Environments* (pp. 341–354). Springer Netherlands. [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4411-3\\_89](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4411-3_89)

- Hua, L., Lu, Z., Yuan, N., Chen, L., Yu, Y., & Wang, L. (2017). Percolation Phase Transition of Surface Air Temperature Networks: A new test bed for El Niño/La Niña simulations. *Scientific Reports*, 7(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-017-08767-4>
- Itaki, T., Kim, S., Rella, S., Uchida, M., Tada, R., & Khim, B. (2012). Millennial-scale variations of late Pleistocene radiolarian assemblages in the Bering Sea related to environments in shallow and deep waters. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 61–64, 127–144. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2011.03.002>
- Jaccard, P. (1900). Contribution au problème de l'immigration post-glaciaire de la flore alpine. *Bulletin de La Société Vaudoise Des Sciences Naturelles*, 36, 87–130. <https://doi.org/10.5169/seals-266069>
- Jakobsson, M., Pearce, C., Cronin, T. M., Backman, J., Anderson, L. G., Barrientos, N., Björk, G., Coxall, H., de Boer, A., Mayer, L. A., Mörh, C.-M., Nilsson, J., Rattray, J. E., Stranne, C., Semiletov, I., & O'Regan, M. (2017). Post-glacial flooding of the Bering Land Bridge dated to 11 cal ka BP based on new geophysical and sediment records. *Climate of the Past*, 13(8), 991–1005. <https://doi.org/10.5194/cp-13-991-2017>
- Kamikuri, Motoyama, Nishi, & Iwai. (2009). Evolution of Eastern Pacific Warm Pool and upwelling processes since the middle Miocene based on analysis of radiolarian assemblages: Response to Indonesian and Central American Seaways. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 280(3–4), 469–479. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2009.06.034>
- Kamikuri, Nishi, & Motoyama. (2007). Effects of late Neogene climatic cooling on North Pacific radiolarian assemblages and oceanographic conditions. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 249(3–4), 370–392. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2007.02.008>
- Kamikuri, S. ichi, & Moore, T. C. (2017). Reconstruction of oceanic circulation patterns in the tropical Pacific across the early/middle Miocene boundary as inferred from radiolarian assemblages. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 487, 136–148. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2017.08.028>
- Kamikuri, S., Nishi, H., Motoyama, I., & Saito, S. (2004). Middle Miocene to Pleistocene radiolarian biostratigraphy in the Northwest Pacific Ocean, ODP Leg 186. *The Island Arc*, 13(1), 191–226. <https://doi.org/10.1111/j.1440-1738.2003.00421.x>

- Kemp, A., & Baldauf, J. (1993). Vast Neogene laminated diatom mat deposits from the eastern equatorial Pacific Ocean. *Nature*, 362(6416), 141–144. <https://doi.org/10.1038/362141a0>
- Kessler, W. (2006). The circulation of the eastern tropical Pacific: A review. *Progress in Oceanography*, 69(2–4), 181–217. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2006.03.009>
- Kling, S. A., & Boltovskoy, D. (1995). Radiolarian vertical distribution patterns across the Southern California current. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 42(2), 191–231. [https://doi.org/10.1016/0967-0637\(94\)00038-T](https://doi.org/10.1016/0967-0637(94)00038-T)
- Kochhann, K. G. D. (2015). Radiolários: estado do conhecimento e aplicações às geociências. *Terrae Didactica*, 7(1), 18. <https://doi.org/10.20396/td.v7i1.8637438>
- Kucera, M. (2009). Determination of Past Sea Surface Temperatures. In *Encyclopedia of Ocean Sciences* (pp. 98–113). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-012374473-9.00700-1>
- Kukowski, N., & Bangs, N. (2010). From the trench to the arc: Subduction along South America. In *Tectonophysics* (Vol. 495, Issues 1–2, p. 1). <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2010.09.038>
- Lazarus, D., Bittniok, B., Diester, L., Billups, K., Ogawa, Y., Takahashi, K., & Meyers, P. (2008). Radiolarian and sedimentologic paleoproductivity proxies in late Pleistocene sediments of the Benguela Upwelling System, ODP Site 1084. *Marine Micropaleontology*, 68(3–4), 223–235. <https://doi.org/10.1016/j.marmicro.2008.02.004>
- Leme, J., Heredia, S., Rodrigues, S., Simões, M., Aceñolaza, G., & Milana, J. (2003). The Cordillera Oriental of Salta (NW Argentina): The Oldest Conulariid (CNIDARIA) from South America. In *Revista Española de Micropaleontología* (Vol. 35, Issue 3).
- Leviton. (1995). *Marine Biology: Function, biodiversity*.
- López, G., Flores, J., Sierro, F., & Cacho, I. (2008). Variations in coccolithophorid production in the Eastern Equatorial Pacific at ODP Site 1240 over the last seven glacial-interglacial cycles. *Marine Micropaleontology*, 69(1), 52–69. <https://doi.org/10.1016/j.marmicro.2007.11.009>
- López Peralta, R. H., & Mojica López, L. H. (2015). Influencia Abiótica Sobre Algunos Géneros de Copépodos (Crustacea) Epipelágicos en el Pacífico Colombiano. Septiembre de 2002. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 11(1), 20. <https://doi.org/10.18359/rfcb.379>

- Loveless, J., Pritchard, M., & Kukowski, N. (2010). Testing mechanisms of subduction zone segmentation and seismogenesis with slip distributions from recent Andean earthquakes. *Tectonophysics*, 495(1–2), 15–33. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2009.05.008>
- Masotti, I., Moulin, C., Alvain, S., Bopp, L., Tagliabue, A., & Antoine, D. (2011). Large-scale shifts in phytoplankton groups in the Equatorial Pacific during ENSO cycles. *Biogeosciences*, 8(3), 539–550. <https://doi.org/10.5194/bg-8-539-2011>
- Matsuzaki, K., Suzuki, N., & Nishi, H. (2015). Middle to Upper Pleistocene Polycystine Radiolarians from Hole 902-C9001C, Northwestern Pacific. *Paleontological Research*, 19(s1), 1–77. <https://doi.org/10.2517/2015PR003>
- Michaud, F., Witt, C., & Royer, J. (2009). Influence of the subduction of the Carnegie volcanic ridge on Ecuadorian geology: Reality and fiction. *Memoir of the Geological Society of America*, 204, 217–228. [https://doi.org/10.1130/2009.1204\(10\)](https://doi.org/10.1130/2009.1204(10))
- Miller, W., & Vokes, E. (1998). Large Phymatoderma in Pliocene slope deposits, northwestern Ecuador: Associated ichnofauna, fabrication, and behavioral ecology. *Ichnos*, 6(1–2), 23–45. <https://doi.org/10.1080/10420949809386437>
- Molina. (1977). Radiolarian assemblages and their relationship to the oceanography of the subtropical southeastern Pacific. *Marine Micropaleontology*, 2, 315–352. [https://doi.org/10.1016/0377-8398\(77\)90016-0](https://doi.org/10.1016/0377-8398(77)90016-0)
- Molina. (1984). Radiolaria as indicators of upwelling processes: The Peruvian connection. *Marine Micropaleontology*, 9(1), 53–75. [https://doi.org/10.1016/0377-8398\(84\)90023-9](https://doi.org/10.1016/0377-8398(84)90023-9)
- Molina, E. (2021). Evidencias y causas de los principales eventos del Paleógeno basadas en los patrones de extinción y supervivencia de los foraminíferos. *Spanish Journal of Palaeontology*, 21(2), 159. <https://doi.org/10.7203/sjp.21.2.20488>
- Moncayo, Trejos, Maridueña, & Castro. (2022). *Diversidad de peces demersales en la plataforma continental del Ecuador*.
- Moyano, G., Plaza, G., Cerna, F., & Muñoz, A. (2021). Local and global environmental drivers of growth chronologies in a demersal fish in the south-eastern Pacific Ocean. *Ecological Indicators*, 131. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108151>
- Munir, S., Rogers, J., Zhang, X., Ding, C., & Sun, J. (2020). The horizontal distribution of siliceous planktonic radiolarian community in the eastern indian ocean. *Water (Switzerland)*, 12(12), 1–29. <https://doi.org/10.3390/w12123502>

- Nigrini, C. (1970). *Radiolarian Assemblages in the North Pacific and Their Application to a Study of Quaternary Sediments in Core V20-130* (Vol. 126). <https://doi.org/10.1130/MEM126-p139>
- Nigrini, C., & Caulet, J. P. (1992). Late Neogene Radiolarian Assemblages Characteristic of Indo-Pacific Areas of Upwelling. *Micropaleontology*, 38(2), 139. <https://doi.org/10.2307/1485992>
- Ordóñez, M., Jiménez, N., & Suárez, J. (2006). *Micropaleontología Ecuatoriana*.
- Ormaza, Mora, & Bermúdez. (2016). Relationships between tuna catch and variable frequency oceanographic conditions. *Advances in Geosciences*, 42, 83–90. <https://doi.org/10.5194/adgeo-42-83-2016>
- Ormaza, Mora, Bermúdez, Hurtado, Peralta, & Jurado. (2016). Can small pelagic fish landings be used as predictors of high-frequency oceanographic fluctuations in the 1–2 El Niño region? *Advances in Geosciences*, 42, 61–72. <https://doi.org/10.5194/adgeo-42-61-2016>
- Ormaza-González, & Cedeño Jhontahn. (2017). Coastal El Niño 2017 or Simply: The Carnival Coastal Warming Event? *MOJ Ecology & Environmental Sciences*, 2(8). <https://doi.org/10.15406/mojes.2017.02.00054>
- Osorio, Vallejo, Rincón, Pardo, Restrepo, & Trejos. (2019). Caracterización de las asociaciones de cocolitóforos en las cuencas offshore del Pacífico colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras-INVEMAR*, 48(2), 95–117.
- Pabón. (2003). *El mundo marino de Colombia: investigación y desarrollo de territorios olvidados*.
- Patarroyo, G., & Martínez, J. (2021). Composition and diversity patterns of deep sea benthic foraminifera from the Panama basin, eastern equatorial Pacific. *Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 169. <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2021.103470>
- Pennington, J., Mahoney, K., Kuwahara, V., Kolber, D., Calienes, R., & Chavez, F. (2006). Primary production in the eastern tropical Pacific: A review. *Progress in Oceanography*, 69(2–4), 285–317. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2006.03.012>
- Pew. (2013). *Forage Fish FAQ | The Pew Charitable Trusts*. <https://www.pewtrusts.org/en/research-and-analysis/data-visualizations/2013/forage-fish-faq>



- Pisias, & Mix. (1997). Spatial and temporal oceanographic variability of the eastern equatorial Pacific during the Late Pleistocene: Evidence from radiolaria microfossils. *Paleoceanography*, 12(3), 381–393. <https://doi.org/10.1029/97PA00583>
- Popofsky. (1913). *Die Sphaerellarien des Warmwasser gebietes*.
- Portela, Beier, Barton, Castro, Godínez, Palacios, Fiedler, Sánchez, & Trasviña. (2016). Water masses and circulation in the tropical pacific off central Mexico and surrounding areas. *Journal of Physical Oceanography*, 46(10), 3069–3081. <https://doi.org/10.1175/JPO-D-16-0068.1>
- Provost, C., Chouaib, N., Spadone, A., Bunge, L., Arnault, S., & Sultan, E. (2006). Interannual variability of the zonal sea surface slope in the equatorial Atlantic during the 1990s. *Advances in Space Research*, 37(4), 823–831. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2005.06.018>
- Qu, H., Wang, J., Xu, Y., & Li, X. (2020). Radiolarian assemblage as an indicator of environmental conditions in the marginal seas of the Western North Pacific. *Marine Micropaleontology*, 157. <https://doi.org/10.1016/j.marmicro.2020.101859>
- Rabinowitz, P., Francis, T., Baldauf, J., Harding, B., McPherson, R., Merrill, R., Meyer, A., & Olivas, R. (1991). *OTC 6506 The Ocean Drilling Program: Results From the Sixth Year of Field Operations*. <https://doi.org/10.4043/6506-MS>
- Ramírez, I. J., & Briones, F. (2017). Understanding the El Niño Costero of 2017: The Definition Problem and Challenges of Climate Forecasting and Disaster Responses. *International Journal of Disaster Risk Science*, 8(4), 489–492. <https://doi.org/10.1007/s13753-017-0151-8>
- Raup, & Rex. (2022). Measurement of Faunal Similarity in Paleontology. *Journal of Paleontology*.
- Real, R., & Vargas, J. M. (1996). The probabilistic basis of Jaccard's index of similarity. In *Systematic Biology* (Vol. 45, Issue 3, pp. 380–385). Taylor and Francis Inc. <https://doi.org/10.1093/sysbio/45.3.380>
- Romine, K., & Moore, T. (1981). Radiolarian assemblage distributions and paleoceanography of the eastern equatorial pacific ocean during the last 127 000 years. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 35, 281–314. [https://doi.org/10.1016/0031-0182\(81\)90100-0](https://doi.org/10.1016/0031-0182(81)90100-0)

- Rosenthal, Y., Linsley, B. K., & Oppo, D. W. (2013). Pacific Ocean Heat Content During the Past 10,000 Years. *Science*, 342(6158), 617–621. <https://doi.org/10.1126/science.1240837>
- Sanchez, J., Herrera, C., Carballo, J., Yáñez, B., Álvarez, L., Cardoso, J., & Ruiz, A. (2022). Rapid surface water warming and impact of the recent (2013–2016) temperature anomaly in shallow coastal waters at the eastern entrance of the Gulf of California. *Progress in Oceanography*, 202. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2022.102746>
- Sanfilippo, Westberg, & Riedel. (1985). *Cenozoic Radiolaria*. <https://doi.org/10.1017/S2475263000001422>
- Santos Barrera, Y. (2015). Morfología del margen continental del Pacífico colombiano en los sectores de Bahía Solano y Tumaco. *Boletín Científico CIOH*, 33, 169–186. [https://doi.org/10.26640/01200542.33.169\\_186](https://doi.org/10.26640/01200542.33.169_186)
- Schwing, F. B., Murphree, T., deWitt, L., & Green, P. M. (2002). The evolution of oceanic and atmospheric anomalies in the northeast Pacific during the El Niño and La Niña events of 1995–2001. *Progress in Oceanography*, 54(1–4), 459–491. [https://doi.org/10.1016/S0079-6611\(02\)00064-2](https://doi.org/10.1016/S0079-6611(02)00064-2)
- Shackleton, N. J., & Opdyke, N. D. (1973). Oxygen Isotope and Palaeomagnetic Stratigraphy of Equatorial Pacific Core V28-238: Oxygen Isotope Temperatures and Ice Volumes on a  $10^5$  Year and  $10^6$  Year Scale. *Quaternary Research*, 3(1), 39–55. [https://doi.org/10.1016/0033-5894\(73\)90052-5](https://doi.org/10.1016/0033-5894(73)90052-5)
- Shannon, C. (1948). A Mathematical Theory of Communication. *Bell System Technical Journal*, 27(3), 379–423. <https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1948.tb01338.x>
- Terán B., Recalde S., & Andrade C. (2021). Aporte sobre la variabilidad espacial de la corriente de Cromwell en el Pacífico ecuatorial, entre 170°o y 85°o en el promedio de 1993 -2017. *Acta Oceanográfica*. <https://doi.org/10.54140/raop.v3i1.45>
- Thiel, M., Macaya, E., Acuña, E., Arntz, W., Bastias, H., Brokordt, K., Camus, P., Castilla, J., Castro, L., Cortos, M., Dumont, C., Escribano, R., Fernandez, M., Gajardo, J., Gaymer, C., Gomez, I., Gonzalez, A., Gonzalez, H., Haye, P., ... Vega, A. (2007). *The Humboldt Current System of Northern and Central Chile* (pp. 195–344). <https://doi.org/10.1201/9781420050943.ch6>

- Thompson, P., & Saito, T. (1974). Pacific Pleistocene Sediments: Planktonic Foraminifera Dissolution Cycles and Geochronology. *Geology*, 2(7), 333. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1974\)2<333:PPSPFD>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1974)2<333:PPSPFD>2.0.CO;2)
- Torreblanca, Flores, Flores, García, Michel, & Rosas. (2014). Gasterópodos con potencial económico asociados al intermareal rocoso de la Región Marina Prioritaria 32, Guerrero, México. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 49(3), 547–557. <https://doi.org/10.4067/S0718-19572014000300011>
- Trotta, S., Marino, M., Voelker, A. H. L., Rodrigues, T., Maiorano, P., Flores, J.-A., Girone, A., Addante, M., & Balestra, B. (2022). Early Pleistocene calcareous nannofossil assemblages from the Gulf of Cadiz reveal glacial-interglacial and millennial-scale variability. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 608, 111304. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2022.111304>
- van Rooij, D., Blamart, D., Richter, T., Wheeler, A., Kozachenko, M., & Henriot, J.-P. (2007). Quaternary sediment dynamics in the Belgica mound province, Porcupine Seabight: ice-rafting events and contour current processes. *International Journal of Earth Sciences*, 96(1), 121–140. <https://doi.org/10.1007/s00531-006-0086-6>
- Vasilenko, L., & Vasilenko, Y. (2021). Pleistocene radiolarian biostratigraphy of the submarine Vityaz Ridge, Northwest Pacific. *Marine Micropaleontology*, 169, 102040. <https://doi.org/10.1016/j.marmicro.2021.102040>
- Vincent, D. G. (1998). Pacific Ocean. In *Meteorology of the Southern Hemisphere* (pp. 101–117). American Meteorological Society. [https://doi.org/10.1007/978-1-935704-10-2\\_4](https://doi.org/10.1007/978-1-935704-10-2_4)
- Winckler, G., Anderson, R. F., Jaccard, S. L., & Marcantonio, F. (2016). Ocean dynamics, not dust, have controlled equatorial Pacific productivity over the past 500,000 years. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 113(22), 6119–6124. <https://doi.org/10.1073/pnas.1600616113>
- Yanchenko, E., & Gorbarenko, S. (2015). Radiolarian responses of the central Okhotsk Sea to the global orbital and millennial scale climate oscillations over last 90kyr. *Journal of Asian Earth Sciences*, 114, 601–610. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2015.08.004>
- Yang, S., Li, Z., Yu, J.-Y., Hu, X., Dong, W., & He, S. (2018). El Niño–Southern Oscillation and its impact in the changing climate. *National Science Review*, 5(6), 840–857. <https://doi.org/10.1093/nsr/nwy046>

