



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
POSGRADO EN CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGIA
GEOLOGÍA MARINA

**RESPUESTA DE LAS ASOCIACIONES DE FORAMINÍFEROS BENTÓNICOS A
LAS VARIACIONES DE OXÍGENO DISUELTOS PRODUCIDAS POR EL CAMBIO
GLOBAL EN LA ZONA MARINA FRENTE AL PUERTO DE MAZATLÁN
DURANTE EL ÚLTIMO SIGLO.**

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS

PRESENTA

ANDREA ITALIA MORA GARCÍA

TUTOR PRINCIPAL

DRA. MARIA LUISA MACHAIN CASTILLO

Instituto de Ciencias del Mar y Limnología

MIEMBROS DEL COMITÉ TUTOR

DRA. ANA CAROLINA RUIZ FERNANDEZ

Instituto de Ciencias del Mar y Limnología

DR. JORGE FELICIANO ONTIVEROS CUADRAS

Instituto de Ciencias del Mar y Limnología

DRA. MARIA ADELA MONREAL GOMEZ

Instituto de Ciencias del Mar y Limnología

DR. JOHN SELVAMONY ARMSTRONG-ALTRIN SAM

Instituto de Ciencias del Mar y Limnología

... CD.MX, enero, 2022.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



**RESPUESTA DE LAS ASOCIACIONES DE FORAMINÍFEROS BENTÓNICOS A
LAS VARIACIONES DE OXÍGENO DISUELTOS PRODUCIDAS POR EL CAMBIO
GLOBAL EN LA ZONA MARINA FRENTE AL PUERTO DE MAZATLÁN
DURANTE EL ÚLTIMO SIGLO.**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE:
MAESTRA EN CIENCIAS**

Geología Marina

**PRESENTA:
ANDREA ITALIA MORA GARCÍA**

TUTOR(A) O TUTORES PRINCIPALES:
DRA. MARIA LUISA MACHAIN CASTILLO
Instituto de Ciencias del Mar y Limnología

COMITÉ TUTOR:

DRA. ANA CAROLINA RUIZ FERNANDEZ
Instituto de Ciencias del Mar y Limnología

DR. JORGE FELICIANO ONTIVEROS CUADRAS
Instituto de Ciencias del Mar y Limnología

DRA. MARIA ADELA MONREAL GOMEZ
Instituto de Ciencias del Mar y Limnología

DR. JOHN SELVAMONY ARMSTRONG-ALTRIN SAM
Instituto de Ciencias del Mar y Limnología

MÉXICO, CD. MX., ENERO, 2022



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México). El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México por albergarme durante estos últimos años y permitirme desarrollar una parte de mi vida académica dentro de la máxima casa de estudios.

Al Posgrado de Ciencias del Mar y Limnología por la valiosa oportunidad de realizar mis estudios de Maestría.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo económico brindado durante los estudios de maestría.

Agradezco a mi asesora de tesis por su dirección durante esta investigación, por sus valiosos consejos y enseñanzas, así como por la gran oportunidad para realizar este proyecto en el Laboratorio de Micropaleontología y Paleooceanografía. Gracias Dra. Ma. Luisa Machain Castillo.

A mi comité tutorial:

Dra. Ana Carolina Ruiz Fernández

Dr. Jorge Feliciano Ontiveros cuadras

Dra. María Adela Monreal Gómez

Dr. John Selvamony Armstrong-Altrin Sam

Dra. Ma. Luisa Machain Castillo

Gracias por su tiempo dedicado a la revisión de este trabajo, por sus comentarios y sugerencias a fin de mejorar el manuscrito de esta tesis.

El muestreo y obtención de datos provienen de la campaña "MAZ V", realizada en el año 2019 a bordo del B/O *El Puma*. El financiamiento para el tiempo de barco para la realización de esta campaña fue cubierto por la Universidad Nacional Autónoma de México.

Al Técnico Académico M. en C. Alejandro Rodríguez Ramírez por su ayuda en la obtención de la secuencia sedimentaria en campo y su submuestreo en laboratorio.

Finalmente agradezco a mis compañeros de laboratorio por sus consejos, paciencia y toda la ayuda brindada. Laus, Toño, Alex y Angie, gracias por las risas y los momentos compartidos.

DEDICATORIA

A Dios.

A mis padres y a mi hermana, por siempre motivarme a perseguir mis sueños y alcanzar mis metas, por su apoyo incondicional y por creer en mí. Ustedes son el motor de todo.

A mi familia y amigos, que de incontables maneras siempre me muestran su apoyo y me dan ánimos para continuar.

ÍNDICE

RESUMEN.....	9
1. INTRODUCCIÓN.....	10
2. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN E HIPÓTESIS	12
3.OBJETIVOS	13
3.1 Objetivo general	13
3.2 Objetivos específicos	13
4. ANTECEDENTES	13
4.1 Foraminíferos bentónicos como indicadores de niveles de oxígeno.....	13
5. ÁREA DE ESTUDIO	16
5.1 Localización	16
5.2 Clima.....	16
5.3 Propiedades fisicoquímicas y masas de agua.....	17
5.3.1 Propiedades fisicoquímicas	17
5.3.2 Masas de agua y salinidad.....	17
5.4 Corrientes.....	19
6. METODOLOGÍA	19
6.1 Muestreo en campo.....	19
6.1.1 Sedimentos.....	19
6.1.2 Parámetros fisicoquímicos.	20
6.2 Laboratorio.....	21
6.2.1 Procesamiento micropaleontológico.....	22
6.2.1.1 Lavado de muestras	22
6.2.2 Análisis en microscopio.....	22
6.2.3 Geocronología con ²¹⁰ Pb	23
6.3 Análisis estadístico.....	26
6.3.1 Índices de diversidad y abundancia	26
6.3.2 Análisis multivariados.....	28
6.3.3 Análisis de correlación y pruebas estadísticas	28
7. RESULTADOS.....	29
7.1 Geocronología con ²¹⁰ Pb y tasa de sedimentación.....	29
7.2 Porcentaje de arenas y lodos.....	30
7.3 Concentración de oxígeno disuelto (OD)	33

7.4 Foraminíferos bentónicos	34
7.4.1. Principales especies y su abundancia	34
7.4.2 Índices de diversidad	40
7.4.3 Análisis multivariado.....	42
8. DISCUSIÓN	45
9. CONCLUSIONES.....	49
Referencias	51
ANEXOS	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del área de estudio. Se muestra la localización del núcleo MAZ V E 08 y MAZ IV E08 , así como de la boya de la recalada y la planta de tratamiento de aguas residuales “El crestón” al sur de Mazatlán, Sinaloa	20
Figura 2. Valores de TAM y TAS para el núcleo MAZ V E08 recolectado al sur de Mazatlán,Sinaloa	30
Figura 3. Porcentaje de limos-arcillas y arenas en el núcleo MAZ V E08 recolectado al sur de Mazatlán, Sinaloa	32
Figura. 4 Abundancia relativa (%) de las principales especies de FB en el núcleo MAZ V E08 para el sur de Mazatlán, Sinaloa.....	37
Figura 5. Abundancia absoluta de foraminíferos bentónicos en el núcleo MAZ V E08 recolectado al sur de Mazatlán,Sinaloa.....	38
Figura 6. Flujo de FB en el núcleo MAZ V E08 recolectado al sur de Mazatlán, Sinaloa.....	39
Figura 7. Índices de diversidad de FB en el núcleo MAZ V E08 para el sur de Mazatlán,Sinaloa	41

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Porcentaje de arenas y lodos en las muestras del núcleo MAZ V E08 recolectado al sur del Puerto de Mazatlán, Sinaloa.....	31
Tabla 2. Gastos de tiosulfato (mL) en la medición de la concentración de OD para las estaciones E08 y E10 ubicadas al Sur de Mazatlán, Sin.	33
Tabla 3. Valores de oxígeno disuelto medidos en años previos para el Sur de Mazatlán, Sinaloa.....	33
Tabla 4. Rangos límite de oxígeno según Bernhard y Sen Gupta (1999)	34
Tabla 5. Especies más abundantes (> 5%) de las muestras superficiales MAZ IV E08 y MAZ V E08 para la zona marina frente a Mazatlán.....	35
Tabla 6. Índices de diversidad para muestras superficiales (MAZ V y MAZ IV)	40
Tabla 7. Valores de índices de diversidad correspondientes a cada factor obtenido para el núcleo MAZ V E08 recolectado al sur de Mazatlán, Sinaloa.....	42
Tabla 8. Valores obtenidos de la prueba de t para índices de diversidad de Factor 1 y Factor 2 en el núcleo MAZ V E 08 recolectado al sur de Mazatlán Sinaloa.....	42
Tabla 9. Porcentajes de varianza explicada para cada factor obtenido en el núcleo sedimentario MAZ V E08 recolectado al sur de Mazatlán, Sinaloa.....	43
Tabla 10. Cargas de factor (>0.70) y varianza explicada (%) para el núcleo MAZ V E08.....	44
Tabla 11. Valores de factor de las especies identificadas en el factor 1 (F1) y factor 2 (F2) en el núcleo MAZ V E08 recolectado al sur de Mazatlán, Sinaloa.....	45

RESUMEN

Se analizaron las poblaciones de foraminíferos bentónicos en un núcleo de sedimento, fechado mediante el método de Plomo-210, con el propósito de evaluar sus respuestas con respecto a las posibles variaciones de oxígeno disuelto del agua de fondo en la zona marina frente al puerto de Mazatlán producidas por el Cambio Global en el periodo comprendido entre 1989 y 2019. Los valores obtenidos de los análisis de abundancia de especies e índices de diversidad a lo largo del núcleo se encuentran dentro del intervalo reportado para ambientes marinos de plataforma interna. Sin embargo, el análisis de factores separó dos asociaciones de especies que indicaron cambios en la oxigenación del agua de fondo. La asociación 1, conformada por *Nonionella stella*, *Reophax sp.* y *Nonionella atlantica* indicó condiciones de menor oxigenación de 1989-2015 y la asociación 2, caracterizada por *N. stella*, *N. atlantica*, *Bulimina marginata*, *Buliminella elegantissima* y *Reophax sp.* sugirió condiciones ligeramente más óxicas de 2016-2019. De acuerdo con los valores de oxígeno medidos a la profundidad del sitio de muestreo, el agua de fondo es óxica en el presente. Los resultados obtenidos sugirieron que las fuentes de contaminación y vertido de materia orgánica, como la planta de tratamiento de aguas residuales “El Crestón”, podrían no alcanzar a impactar de manera directa el sitio de muestreo, o que el impacto no ha sido suficiente para causar hipoxia durante los últimos 30 años en el sitio de estudio.

1. INTRODUCCIÓN

La contaminación de los océanos es un problema que ha venido en aumento en diversas zonas del mundo, debido principalmente a la creciente actividad humana y a sus residuos de origen agrícola, urbano e industrial. En general, cuando hay una gran entrada de contaminantes (i.e. plaguicidas, productos químicos industriales, metales pesados tóxicos, etc.) y materia orgánica (M.O) al ambiente marino, en presencia de estratificación de la columna de agua, la concentración del O₂ disuelto (OD) disminuye por la oxidación de la M.O y la falta de aireación causada por la estratificación (Rabalais y Turner, 2006). La disminución de la concentración de oxígeno en el océano, así como otros cambios físicos asociados al calentamiento global, son factores estresantes que presentan un fuerte carácter regional y local como consecuencia de un mayor aporte de nutrientes de origen antropogénico (Baxter, 2019). Estas condiciones pueden generar “zonas muertas” con niveles bajos de OD (< 2 mg/L) que repercuten en la flora y fauna marina como en el caso del norte del Golfo de México (Rabalais *et al.*, 2002). En el océano moderno existen zonas que se caracterizan por presentar de manera natural y permanente un contenido de OD por debajo de 0.5 mL/L, que son llamadas zonas de oxígeno mínimo (ZOMs) (Helly y Levin, 2004; Tetard *et al.*, 2017). Una de las ZOMs más extensas del mundo está localizada en el Pacífico Nororiental Tropical (PNT) (Paulmier y Ruiz, 2009) localizada aproximadamente entre 100 y 800 m de profundidad (Paulmier *et al.*, 2008). Las ZOMs pueden afectar la biomasa de plancton y organismos bentónicos, y modificar la composición, distribución y asociaciones de especies pertenecientes a estos grupos (Wishner *et al.*, 1995). Observaciones recientes señalan que, durante las últimas décadas las ZOMs se han intensificado y expandido como resultado del calentamiento global y la alta absorción de CO₂ de origen antropogénico por el océano (Sabine *et al.*, 2004; Stramma *et al.*, 2008; Paulmier *et al.*, 2011). En consecuencia, el interés por conocer los niveles de concentración de OD y sus repercusiones en el medio marino se ha incrementado (Rabalais *et al.*, 2002, 2014; Stramma *et al.*, 2008; Mallon *et al.*, 2012).

Con el fin de evaluar y conocer las variaciones en los niveles de OD en el agua marina, se han utilizado herramientas tanto geoquímicas (Choumiline *et al.*, 2019; Ontiveros-Cuadras *et al.*, 2019) como biológicas (Pérez-Cruz y Machain-Castillo, 1990; Fischer *et al.*, 1999; Tetard *et al.*, 2017). Dentro de las herramientas biológicas más utilizadas se encuentran los foraminíferos bentónicos (FB), uno de los componentes más abundantes del microbentos marino (Gooday, 1986). Los foraminíferos son considerados importantes componentes de la meiofauna en el océano profundo y su distribución y diversidad están estrechamente ligadas a factores tales como la salinidad y la temperatura del agua, el flujo de partículas de M.O y la disponibilidad de oxígeno (Gooday, 2003). Algunas especies habitan en ambientes con condiciones de hipoxia y aún anoxia (Sen Gupta y Machain-Castillo, 1993); por ello, se han utilizado en diversos estudios como indicadores de los niveles de oxígeno (Pérez-Cruz y Machain-Castillo, 1990; Rangel-Balmaceda, 2004; Ontiveros-Cuadras *et al.*, 2019).

Como consecuencia del acelerado incremento poblacional y desarrollo industrial de las últimas décadas, ligado a una mayor demanda de recursos naturales, el flujo de una gran variedad de materiales naturales y sintéticos hacia el medio marino se ha elevado y provocado la modificación y deterioro de la zona costera de Mazatlán (Páez-Osuna *et al.*, 1990). Al respecto, se han examinado los efectos de aportes antropogénicos de metales pesados (Páez-Osuna *et al.*, 1989) en donde se encontraron concentraciones de metales más altas en las estaciones ubicadas en el canal de navegación y frente a la planta termoeléctrica; y condiciones de eutrofización en la porción sur de la Bahía de Mazatlán (Alonso-Rodríguez *et al.*, 2000). Igualmente se han evaluado la distribución y flujo histórico de metales traza (Ontiveros-Cuadras *et al.*, 2019) cuyo enriquecimiento coincidió con el crecimiento urbano y el desarrollo industrial alrededor del área; y las condiciones de cuerpos de agua como el Estero de Urías, impactados por el desarrollo humano, que muestran una relación entre el aumento de contaminantes y los desechos provenientes de diferentes fuentes antropogénicas (Ruiz-Fernández *et al.*, 2009). Ejemplo de este incremento poblacional y desarrollo industrial en las últimas décadas, es la presencia de la planta de tratamiento de aguas residuales “El Crestón” que recibe

alrededor del 95% de las aguas residuales que se generan en la ciudad de Mazatlán y la cual vierte sus residuos al Pacífico (Alonso-Rodriguez,2004; JUMAPAM, 2013).

2. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN E HIPÓTESIS

Considerando los antecedentes mencionados, así como el evidente incremento en los desechos generados por diferentes fuentes antropogénicas en la zona, en la presente investigación se plantea el reconocimiento de una probable disminución de oxígeno en el agua de fondo frente a las costas de Mazatlán durante el último siglo, a través de el estudio de las asociaciones de foraminíferos bentónicos y así considerar la posible formación de una zona muerta frente a las costas de Mazatlán debido al Cambio Global.

Las preguntas relacionadas con el presente trabajo son las siguientes:

1. ¿Han variado durante el último siglo los niveles de concentración de OD en el agua de fondo frente a las costas de Mazatlán?

Hipótesis: Debido a que las poblaciones de FB se modifican con las variaciones de las concentraciones de OD en el agua de fondo, se espera que con el incremento de los vertidos de M.O y contaminantes, producto de la industria y los asentamientos humanos en la zona de Mazatlán, disminuya la concentración de OD en la zona y esto sea reflejado por las poblaciones de FB.

2. ¿Cómo han sido impactadas las poblaciones de FB dentro del área de estudio?

Hipótesis: Las posibles variaciones de oxígeno en el agua de fondo se verán reflejadas en su composición taxonómica, sus características poblacionales y/o su distribución estratigráfica.

3. De presentarse estas variaciones, ¿desde cuándo han tenido lugar y qué tan severas han sido?

Hipótesis: Considerando que a partir de la segunda mitad del siglo XIX la actividad humana comenzó a intensificarse en la zona, se espera que las

poblaciones de FB reflejen variaciones en los niveles de OD en la zona durante los últimos 30 años.

3.OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Conocer las variaciones en las poblaciones de foraminíferos bentónicos durante los últimos 30 años en la zona marina frente al puerto de Mazatlán (boya de la recalada, 33 m de profundidad) e identificar posibles cambios en la oxigenación del agua de fondo indicadas por dichas poblaciones.

3.2 Objetivos específicos

- Identificar taxonómicamente los foraminíferos bentónicos presentes en las muestras del núcleo sedimentario MAZ V E08.
- Determinar la diversidad y abundancia de las poblaciones de foraminíferos bentónicos en el núcleo sedimentario.
- Evaluar cambios en el nivel de oxigenación de las aguas de fondo a partir de las asociaciones de foraminíferos bentónicos encontradas.

4. ANTECEDENTES

4.1 Foraminíferos bentónicos como indicadores de niveles de oxígeno.

La relación de los FB con la cantidad de OD en el agua de fondo ha sido estudiada desde los años 60's por diversos autores en diferentes partes del mundo. En estos estudios se reconoció la tolerancia a bajas concentraciones de oxígeno de ciertas especies, así como cambios morfológicos en las testas de los organismos relacionados al empobrecimiento de oxígeno (Emery y Hulseman, 1961; Harman, 1964; Boltovskoy, 1972; Douglas, 1979 entre otros)

A continuación, se mencionan algunos estudios realizados para el Pacífico mexicano:

Pérez-Cruz y Machain-Castillo (1990) determinaron especies de FB para el Golfo de Tehuantepec (GT) a una profundidad de 100 a 200 m. En este estudio se identificaron dos asociaciones, las cuales se relacionaron con la profundidad, así como con la concentración de oxígeno presente. La primera asociación estuvo caracterizada por *Hanzawaia nitidula* y *Cassidulina* sp. distribuida de los 100-150 m en donde las concentraciones de OD variaron de 0.3 a 0.5 mL/L y una segunda dominada por especies de *Bolivina* y *Epistominella bradyana* distribuida de 150-200 m y asociada con concentraciones de oxígeno menores a 0.3 mL/L. Se observó también una baja diversidad en la fauna de FB asociada a la ZOM.

Sen Gupta y Machain-Castillo (1993) realizaron una revisión de la distribución de FB en ambientes con poco oxígeno a diferentes profundidades e indican los rangos de tolerancia para las principales especies. En este estudio se reporta que especies de los géneros *Buliminella*, *Bolivina*, *Uvigerina*, *Epistominella* y *Cassidulina*, pueden sobrevivir bajo condiciones disoxicas, suboxicas e incluso anóxicas (0 – 2.0 mL/L). Así mismo mencionan que bajas diversidades y altas dominancias son características típicas de las poblaciones de FB en ambientes pobres en oxígeno.

Rangel-Balmaceda (2004) describió la distribución, abundancia y diversidad de FB al sur de Sinaloa. Así mismo, identificó asociaciones de FB y analizó su relación con valores de oxígeno y reportó una concentración de 4.6 a 4.8 mL/L en las estaciones más cercanas a la costa (58 y 75 m de profundidad) con una mayor abundancia de las especies *Bulimina marginata*, *Cassidulina minuta* y *Uvigerina excellens*.

Vásquez-Bedoya *et al.* (2008) analizaron dinoquistes y asociaciones de FB en el GT (a una profundidad de 66.7 m) para conocer posibles variaciones en la oxigenación del agua de fondo en relación a las surgencias. En este estudio se reportan asociaciones dominadas por *Hanzawaia concentrica*, seguida de *Uvigerina excellens* y otras especies como *Cancris spp.*, *Planulina ornata*, *Quinqueloculina lamarckiana*, *Epistominella sandiegoensis*, *Nonionella basispinata*, *Cassidulina modeloensis* y *Textularia foliacea*, especies características de concentraciones por

encima de 1 mL/L de OD. Dicha asociación se presentó a lo largo de los 100 años que abarcó el núcleo e indicó que durante ese tiempo las condiciones de O₂ en el agua de fondo no variaron lo suficiente como para influir en los conjuntos de foraminíferos bentónicos.

Almaraz-Ruiz (2017) reconoció los patrones de surgencia en el GT (a 743 m de profundidad) durante el último siglo a través de diatomeas y FB. De estos últimos, determinó dos asociaciones relacionadas con ligeros cambios de OD en las aguas de fondo. La primera indicó concentraciones de oxígeno de hasta 0.05 mL/L conformada por especies como *Bolivina seminuda*, *Buliminella tenuata* y *Bolivina spissa*; y otra asociación de *Epistominella sandiegoensis*-*Takayanagia delicata* que sugieren condiciones ligeramente más óxicas (> 0.05 mL/L).

Ontiveros-Cuadras *et al.* (2019), mediante el análisis geoquímico y de foraminíferos de tres núcleos, concluyeron que la ZOM frente a las costas de Mazatlán se ha debilitado y contraído en el último siglo. Para este estudio reportaron a las especies *Epistominella sandiegoensis* y *Bolivina spissa* como indicativas de condiciones subóxicas mientras que a *B. pacífica* y *B. acuminata* las asociaron con condiciones más oxigenadas para el núcleo más cercano a la costa (150 m).

García-Gallardo *et al.* (2020) realizaron la primera reconstrucción de alta resolución para los últimos 6 mil años en el GT, en donde se determinaron dos asociaciones de FB dentro de la ZOM. La primera conformada por *E. sandiegoensis*, *T. delicata* y *B. tenuata*, especies indicativas de bajas concentraciones de oxígeno, y una segunda conformada por *B. seminuda*, *Gyroidina nitidula*, *Epistominella sp.*, *E. obesa*, y *Pseudoparella bradyana* asociadas a mayores niveles de oxígeno. Además, se reportan bajas diversidades, altas dominancias y abundantes FB en los periodos cálidos, mientras que durante periodos fríos sucede lo contrario.

5. ÁREA DE ESTUDIO

5.1 Localización

El área de estudio se localiza en el Pacífico Mexicano, frente al puerto de Mazatlán, uno de los 16 principales puertos de altura del país. Mazatlán se encuentra en la porción sur de Sinaloa, en las coordenadas 23°14' 48" latitud norte y 106° 25' 20" longitud oeste y entra en contacto con la parte sur del Golfo de California (GDC), también conocido como mar de Cortés.

El GDC está rodeado por los estados de Baja California, Baja California Sur, Sonora y Sinaloa y se encuentra influenciado al sur por el océano Pacífico (CONABIO *et al.*, 2007). Para el estudio del GDC, Lavín *et al.* (1997) establecieron cuatro zonas a partir de la topografía del fondo: 1) alto golfo, 2) parte norte, 3) parte sur y 4) zona de la boca dentro de la cual se ubica el área de estudio. De acuerdo con Lavín *et al.* (1997), la zona de la boca del golfo (BdG) tiene una profundidad máxima de aproximadamente 3000 metros y se encuentra limitada por las líneas que unen a Cabo San Lucas, B.C.S. con Cabo Corrientes; a Cabo San Lucas con El Dorado, Sinaloa y la línea de costa entre El Dorado y Cabo Corrientes.

5.2 Clima

En general el GDC presenta un clima árido, influenciado por las tierras áridas y semiáridas que lo rodean, lo que favorece una alta tasa de evaporación generalmente mayor a la tasa de precipitación. En Sinaloa el invierno es cálido y el verano menos caliente que en Sonora, con una vegetación tropical (Lavín *et al.*, 1997). La precipitación se presenta de agosto a octubre con valores promedio de 300 mm en el norte, mientras que en Mazatlán la precipitación media anual alcanza los 857.5 mm con un periodo de lluvias a finales de verano y principios de otoño (INEGI, 2015).

5.3 Propiedades fisicoquímicas y masas de agua

5.3.1 Propiedades fisicoquímicas

Temperatura

En el GC la temperatura superficial del mar (TSM) promedio anual es de 23° – 25°C. En verano y otoño la TSM va de 28° – 29°C y en invierno y primavera de 17° – 24°C (Escalante-Almazán, *et al.*, 2013).

Oxígeno

El Pacífico mexicano presenta una ZOM bien desarrollada. Verticalmente, la ZOM se extiende a partir de la termoclina tropical cerca de los 100 m hasta la profundidad donde se encuentra el Agua Intermedia del Pacífico (AIP) aproximadamente (Griffiths, 1968). Para el golfo, Reguero y García (1989) registraron concentraciones de 0.0 mL/L a 90 m y 110 m y de 2.4 mL/L a 3.6 mL/L alrededor de los 20 m de profundidad en las costas de Nayarit; mientras que Rangel (2004) reporta para el sur del estado de Sinaloa valores de 2.8 mL/L por encima de los 150 m, que disminuyen rápidamente debajo de 1 mL/L hasta los 1200 m en donde se presenta un repunte de 3.3 mL/L entre los 1200 y los 2400 m.

5.3.2 Masas de agua y salinidad

La evaporación es uno de los factores más importantes en el golfo y es responsable de la alta salinidad que se presenta en las capas superficiales (Lavín *et al.*, 1997). En el GDC se han identificado seis diferentes masas de agua: Agua Profunda del Pacífico (APP), Intermedia del Pacífico (AIP), Subsuperficial Subtropical (ASsSt), de la Corriente de California (ACC), Superficial Ecuatorial (ASE) y Agua del Golfo de California (AGC). A continuación, se enlistan sus características de acuerdo con Lavín *et al.* (1997):

El agua Profunda del Pacífico (APP) se encuentra desde el fondo hasta aproximadamente 1200 m de profundidad delimitada por la isoterma de 4°C. Esta masa de agua ocupa un gran volumen del GDC. La salinidad aumenta hacia el fondo de 34.5 a 34.7 ups. Es una masa de agua muy estable, debido a que está aislada de la influencia meteorológica. Por encima del APP se localiza el Agua Intermedia del Pacífico (AIP) que va desde aproximadamente 1200 m (4°C) a 500 m (9°C) de profundidad. Su salinidad dentro del golfo es de 34.6 ups con un mínimo de 34.5 ups aproximadamente a los 900 m. Por encima se encuentra el Agua Subsuperficial Subtropical, cuyo límite inferior se encuentra a aproximadamente 500 m (9°C) y parece tener una variación estacional presentando su máxima intrusión en la parte norte del Golfo en otoño-invierno, mientras que en verano esta se contrae (Torres, 1993). Su límite superior está definido por: $S < 35$ y $T < 18^{\circ}\text{C}$ a 150 m de profundidad aproximadamente.

En la entrada del GDC convergen tres masas de agua superficiales:

El Agua de La Corriente de California (ACC) se encuentra a 50 m por debajo del Agua Superficial Ecuatorial (ASE). Presenta una salinidad de ≤ 34.5 ups y de 12 a $\leq 18^{\circ}\text{C}$ de temperatura (Lavín y Marinone, 2003).

El Agua Superficial Ecuatorial (ASE) es una de las masas de agua superficial, su extensión hacia el interior del golfo tiene una señal estacional. Su máxima intrusión es en verano y la máxima retracción en invierno, cuando se le encuentra cerca de la boca del golfo. Tiene una salinidad menor de 35.0 ups y una temperatura $\geq 18^{\circ}\text{C}$. Recientemente, se habla de esta masa de agua como Agua Tropical Superficial (Lavín y Marinone, 2003).

El Agua del Golfo de California (AGC) se encuentra por encima de los 150 m. Tiene una temperatura $\geq 12^{\circ}\text{C}$. Su característica distintiva es su salinidad ≥ 35.0 ups, esto marca claramente la frontera entre el ASE y el AGC. El AGC se encuentra principalmente en la parte norte, donde es la única masa de agua hasta esa

profundidad. Aunque el volumen detectado dentro del golfo es muy pequeño, su presencia ha sido reportada cerca de la boca.

5.4 Corrientes

La conexión que presenta la región sur del GDC con el océano Pacífico permite que se genere una circulación compleja desde y hacia el Pacífico. La circulación de las cercanías del GDC se ve afectada por el agua transportada hacia el sur por la Corriente de California (CC) y por el agua de la Corriente Costera Mexicana (CCM) la cual viaja a lo largo de la costa suroeste mexicana desde el GT hasta el GDC (Roden, 1964; Pantoja *et al.*, 2012).

Frente a la boca del golfo se encuentran varias masas de agua que son transportadas por un sistema de corrientes que presenta movimientos estacionales como respuesta a cambios en las condiciones atmosféricas a escala de todo el océano Pacífico (Lavín *et al.*, 1997).

6. METODOLOGÍA

6.1 Muestreo en campo

6.1.1. Sedimentos

Durante la campaña MAREAR XI (MAZ-V) a bordo del buque oceanográfico “El Puma” en abril del 2019, se recolectó un núcleo sedimentario (MAZ V E 08) mediante un multinucleador, a una profundidad de 33 m, en las coordenadas 23°08’51.5” N y 106° 25’52.1” O (Fig.1) y aproximadamente a 1 km de distancia de la Boya de la Recalada, utilizada como punto referente a la entrada a puerto. El núcleo se dejó en refrigeración hasta su muestreo en el laboratorio.

Adicionalmente, se utilizó una muestra de sedimento superficial de otro de los tubos del multinucleador y otra más recolectada en el mismo sitio un año anterior (campaña MAZ IV E08). Con el fin de comparar las faunas vivas de FB en el momento de la recolecta, a las muestras superficiales se les añadió una solución de

formol al 10% con 2 g de rosa de bengala y 0.5 g de borato de sodio /L (para teñir protoplasma) (Walton, 1952; Schönfeld *et al.*, 2012). Las muestras se etiquetaron y transportaron al laboratorio para su procesamiento y análisis.

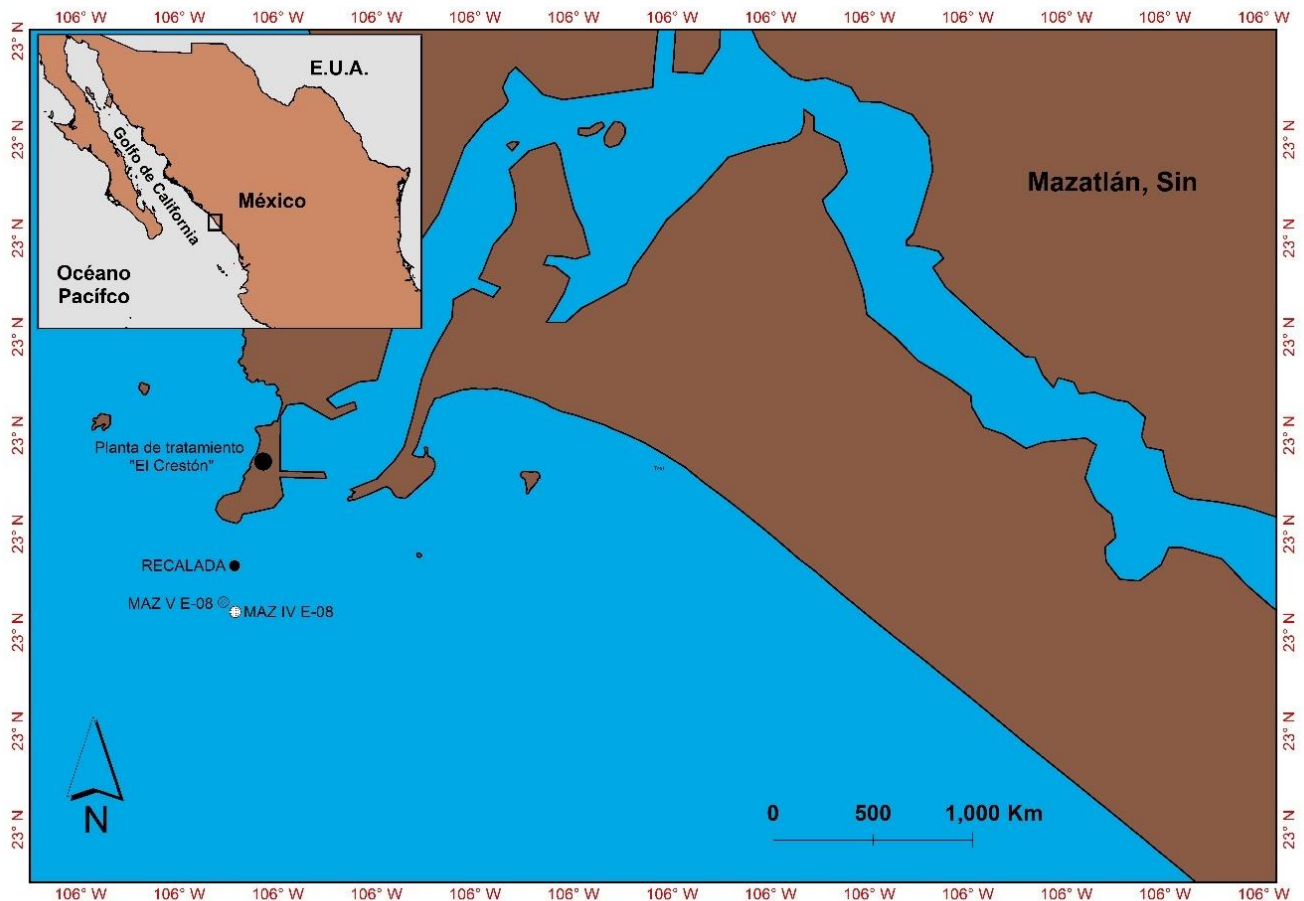


Fig. 1 Localización de sitio de recolección del núcleo MAZ V E 08 y MAZ IV E 08, así como de la boya de la recalada y la planta de tratamiento de aguas residuales “El crestón”.

6.1.2. Parámetros fisicoquímicos.

Se tomaron medidas de temperatura y salinidad de la columna de agua con un CTD (sonda de conductividad, temperatura y profundidad) unido a un marco de metal llamado rosette o carrusel, el cual puede contener botellas que se utilizan para muestrear agua a diferentes profundidades. Para determinar la concentración de

oxígeno disuelto en el agua de fondo, se tomaron muestras de agua con botellas Niskin dispuestas en la rosette. Las muestras se analizaron por el método de Winkler de acuerdo a Grasshoff K. (1976). La muestra se colocó en un frasco de cristal ámbar y se fijó inmediatamente al adicionar sulfato de manganeso ($MgSO_4$) y ioduro alcalino (KI) para obtener una cantidad de ioduro equivalente al OD en la muestra. El KI se determinó mediante una titulación con tiosulfato de sodio ($Na_2S_2O_3$) con el uso de almidón como indicador (Winkler, 1888). El análisis se realizó por triplicado y se calculó la desviación estándar de los datos.

Adicionalmente se tomaron muestras del agua de fondo en la estación E10 (38.9 m de profundidad) que se encuentra ubicada aproximadamente a 2 millas de la estación E08 (sitio de recolecta del núcleo) y 4 millas de la costa en las coordenadas $23^{\circ}07'46.8''$ N y $106^{\circ}28'07.4''$ O. Las muestras de ambas estaciones se tomaron con menos de 24 h de diferencia.

Se revisaron los datos de OD en el agua de fondo de la zona en campañas oceanográficas previas (MAZ I y MAZ IV) para reconocer las variaciones con respecto al valor medido para este estudio.

6.2 Laboratorio

El procesado y análisis de las muestras para micropaleontología se realizó en el Laboratorio de Micropaleontología y Paleoceanografía del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM.

El núcleo se seccionó longitudinalmente y se submuestreó a 0.5 cm. Una mitad fue enviada a la Unidad Académica Mazatlán del ICML para su fechado con ^{210}Pb en el laboratorio de Geoquímica Isotópica y Geocronología. La mitad restante del núcleo se utilizó para el análisis micropaleontológico.

6.2.1 Procesamiento micropaleontológico

6.2.1.1 Lavado de muestras

Para el lavado de muestras se utilizó la técnica modificada de Boltovskoy (1965). El sedimento seco fue lavado con agua corriente utilizando un tamiz de 63 μm (Tyler Screen System N° 250) con el fin de separar la fracción de arenas (fracción en donde se encuentran los foraminíferos) de los limos y arcillas. Cada vez que fue utilizado el tamiz, éste se enjuagó y se sumergió en una solución de azul de metileno para teñir los carbonatos residuales en el tamiz y así evitar la contaminación entre las muestras. Una vez lavadas, las muestras de sedimento se colocaron sobre embudos con papel filtro y se dejaron secar a temperatura ambiente.

Finalmente, cada muestra fue retirada del papel filtro y se registró su peso seco. Las muestras fueron colocadas en frascos de vidrio con su etiqueta correspondiente en la cual se incluyeron nombre de la campaña, nombre del núcleo y profundidad.

Con la diferencia entre el peso de sedimento seco antes y después de lavar se obtuvieron los porcentajes de lodos (limos-arcillas) y arenas correspondientes para cada muestra.

6.2.2 Análisis en microscopio

Las muestras fueron analizadas con ayuda de un microscopio estereoscópico modelo WILD M3Z 40x. De la fracción resultante se extrajeron los foraminíferos totales (vivos + no vivos) con ayuda de pincel y agua. Se emplearon poblaciones totales para comparar en todo el núcleo, puesto que los organismos vivos solo se encuentran en la parte superficial del núcleo y no son buen análogo para el resto del mismo (Denne y Sen Gupta, 1993).

Los organismos extraídos fueron colocados en placas micropaleontológicas impregnadas con goma de tragacanto para mantenerlos adheridos. Cuando los organismos en las muestras fueron abundantes se utilizó un fraccionador de *Otto* hasta obtener una fracción representativa (aproximadamente 300 organismos, Boltovskoy, 1965). Finalmente, los organismos fueron identificados y cuantificados

haciendo uso de literatura especializada y de la colección micropaleontológica del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM (ICMyL).

6.2.3 Geocronología con ^{210}Pb

La edad del núcleo y tasas de sedimentación fueron determinadas por el método de fechado con ^{210}Pb .

^{210}Pb es un radionúclido natural que pertenece a la serie radiactiva del ^{238}U y tiene una vida media de 22.23 años (Ruiz-Fernández *et al.*, 2012). El fechado de sedimentos con ^{210}Pb se ha utilizado ampliamente para el estudio de impactos ambientales producidos durante los últimos 100-150 años, asumiendo que el periodo de semidesintegración del ^{210}Pb (22.23 años) puede ser detectado hasta 5 veces (Sánchez-Cabeza *et al.*, 2012; Ruiz-Fernández *et al.*, 2016).

Fuentes de ^{210}Pb

El ^{210}Pb en medio marino puede tener diferentes orígenes. En las zonas costeras someras el principal aporte se da por precipitación atmosférica, así mismo, la escorrentía del continente puede ser una fuente adicional de ^{210}Pb a la columna de agua. Una tercera fuente es la producción de ^{210}Pb en la columna de agua que procede del ^{226}Ra disuelto en el agua de mar (Sánchez-Cabeza *et al.*, 2012). El ^{210}Pb de la columna de agua se adhiere a la materia suspendida y deposita en los sedimentos del fondo, así, los sedimentos contienen también ^{210}Pb que se produce *in situ* por el decaimiento del ^{226}Ra disuelto ($^{210}\text{Pb}_{\text{base}}$) y el que procede de la columna de agua ($^{210}\text{Pb}_{\text{exceso}}$) (Sánchez-Cabeza y Ruiz-Fernández, 2012).

Análisis de ^{210}Pb

La actividad total del ^{210}Pb ($^{210}\text{Pb}_{\text{tot}}$) fue determinada a través de la actividad de su descendiente radioactivo ^{210}Po por espectrometría alfa y asumiendo un equilibrio secular entre ambos isótopos. El procedimiento para el aislamiento de ^{210}Po incluyó la digestión ácida de sedimentos conforme al método de Loring y Rantala (1992). Los isótopos de Po se aislaron por depósito espontáneo en discos de plata de acuerdo a Flynn (1968). Las actividades del ^{209}Po y ^{210}Po se midieron por espectrometría alfa utilizando detectores 576 A de la marca Ortec TM hasta obtener al menos 1000 cuentas en el pico más débil entre los isótopos analizados (Aldana-Gutiérrez, 2019).

Para el control de calidad se utilizó un material de referencia certificado IAEA-300 (Radionúclidos en sedimentos del mar Báltico) (Ballestra *et al.*, 1994). La actividad de $^{210}\text{Pb}_{\text{base}}$ fue determinada por espectrometría gamma a través del análisis de ^{226}Ra asumiendo un equilibrio secular entre ambos radionúclidos y a través de la línea de 352keV, la cual corresponde a ^{214}Pb , asumiendo también un equilibrio secular entre ^{226}Ra y ^{214}Pb (Sánchez-Cabeza *et al.*, 2010). Se usó un detector de pozo marca Ortec HPGe (germanio hiperpuro) como se describe en Ruiz-Fernández *et al.*, (2014). Las actividades de $^{210}\text{Pb}_{\text{exceso}}$ se calcularon por diferencia entre los valores de $^{210}\text{Pb}_{\text{tot}}$ y $^{210}\text{Pb}_{\text{base}}$.

Modelo CF

Para el fechado se utilizan modelos matemáticos con los cuales se establecen las edades de los sedimentos y tasas de acumulación sedimentaria (Sánchez-Cabeza y Ruiz-Fernández, 2012). El fechado del núcleo se obtuvo utilizando el modelo de flujo constante (CF) (Robbins, 1978), mejor conocido como modelo de tasa constante de suministro, asumiendo un inventario faltante. El inventario de $^{210}\text{Pb}_{\text{exceso}}$ (Pb en exceso) en un núcleo es el balance entre el flujo de $^{210}\text{Pb}_{\text{exceso}}$ y su desintegración radiactiva. Si este flujo es constante se establece un equilibrio entre la cantidad de $^{210}\text{Pb}_{\text{exceso}}$ aportada y la que se pierde por desintegración

radiactiva, por lo que el inventario total del núcleo es constante. Cuando no es posible alcanzar la actividad de base dado que solo se tiene una parte del $^{210}\text{Pb}_{\text{exceso}}$ se asume que hay un inventario faltante (Sánchez-Cabeza, *et al.*, 2012). En este modelo, la hipótesis fundamental es que el flujo de $^{210}\text{Pb}_{\text{exceso}}$ a la superficie del sedimento es constante ($f_i = f(i) = k$) mientras que la tasa de acumulación másica (TAM) es variable (Sánchez-Cabeza y Ruiz-Fernández, 2012). Es decir:

$$C(i, t = 0) = \frac{f(i)}{r(i)} \quad \text{o} \quad f = C(i, t = 0) r(i)$$

La TAM se refiere a la cantidad (g) de sedimento acumulada en un área específica (cm^2) y en un tiempo definido (año). Se considera que la actividad inicial de $^{210}\text{Pb}_{\text{exceso}}$ es inversamente proporcional a la tasa de sedimentación, de manera que a altas tasas de sedimentación se pueden encontrar bajas concentraciones de $^{210}\text{Pb}_{\text{exceso}}$ (Bernal *et al.*, 2010; Sánchez-Cabeza *et al.*, 2012).

Validación del fechado

Dado que particularmente en sedimentos costeros los perfiles de $^{210}\text{Pb}_{\text{exceso}}$ muestran características que los separan de un perfil ideal, es necesario validar la geocronología de $^{210}\text{Pb}_{\text{exceso}}$ utilizando marcas temporales independientes que confirmen las fechas y tasas de acumulación obtenidas (Bernal *et al.*, 2010; Sánchez-Cabeza *et al.*, 2012). Los fechados con ^{210}Pb a menudo son corroborados con valores de ^{137}Cs (Ruiz-Fernández *et al.*, 2009).

El ^{137}Cs es un radioisótopo de origen artificial presente en el ambiente debido principalmente a la precipitación radiactiva de escala global provocada por las pruebas termonucleares atmosféricas que comenzaron poco después de 1950 (Whicker *et al.*, 1994; Ruiz-Fernández *et al.*, 2009). La actividad de ^{137}Cs refleja un máximo en 1963 asociado con la precipitación significativa de los productos antropogénicos derivados de las pruebas de armas nucleares (Walling y He, 1992), posteriormente la actividad disminuyó aceleradamente tras la implementación del

Tratado de Prohibición de Pruebas (DeLaune *et al.*, 1978). Corroborar los posibles picos de ^{137}Cs permite obtener validaciones independientes del fechado por ^{210}Pb (Sánchez-Cabeza *et al.*, 2012).

Para el núcleo MAZ V E08 la actividad de ^{137}Cs fue determinada por espectrometría gamma en un detector HPGe de configuración de pozo marca Ortec® (Díaz-Ascencio *et al.*, 2021).

6.3 Análisis estadístico

6.3.1 Índices de diversidad y abundancia

Con los conteos obtenidos y la identificación taxonómica de las especies de foraminíferos bentónicos se construyó una matriz de datos para posteriormente obtener la abundancia absoluta (AA), que se refiere al número de individuos en 1 g de sedimento seco (Ind g^{-1}); y abundancia relativa (%) que se refiere a la proporción de las especies de toda la asociación (Murray, 2006).

Se utilizaron las ecuaciones (1) y (2):

$$(1) \text{ Abundancia absoluta } (\text{Ind g}^{-1}) = \frac{\text{No. organismos contados} * \text{fracción revisada}}{\text{Peso del sedimento seco (g)}}$$

$$(2) \text{ Abundancia relativa } (\%) = \frac{\text{AA} * 100}{\text{AA por muestra}}$$

Se compararon las abundancias de las poblaciones de la muestra superficial MAZ V (2019) con las obtenidas en la muestra superficial de la campaña MAZ IV (2018). Para determinar las especies más representativas se consideraron aquellas con un mínimo del 5 % de abundancia relativa total.

Para reconocer la estructura de las poblaciones de FB se calcularon índices de diversidad y se realizó una comparación de la abundancia y diversidad de especies

entre muestras para observar posibles cambios en estas características. Esto permite obtener información adicional de las poblaciones (i.e condiciones de estrés ambiental, competencia, depredación) y así mismo inferir sobre las variables ambientales que han dado estructura a la comunidad puesto que la diversidad dentro de ésta es el resultado del impacto de factores tanto ambientales como de las interacciones poblacionales (Begon *et al.*, 1999). Por ejemplo, en zonas de estrés biológico como lo son las ZOMs, solo algunas especies pueden tolerar y adaptarse a estas condiciones, como resultado, las poblaciones en este tipo de zonas tienden a ser menos diversas y a presentar una mayor dominancia de especies (Kennett, 1982; Sen Gupta y Machain-Castillo, 1993). La concentración de OD y el alimento, son algunos de los factores más importantes que controlan la distribución, abundancia y diversidad de las especies y poblaciones de FB (Gooday, 1994; Murray, 2006).

A continuación, se describen los índices de diversidad utilizados:

Riqueza de especies (S). Es la forma más simple de diversidad y está basada únicamente en el número de especies presentes en una muestra (Magurran, 1988; Murray, 2006).

Diversidad de Shannon (H'). Refleja la heterogeneidad de una comunidad con base en la riqueza de especies y su abundancia relativa (Pla, 2006). De acuerdo con Magurran (2004), H' generalmente varía entre 0 y 5, valores que representan una baja y alta diversidad respectivamente.

Dominancia de Simpson (λ'). Este mide la probabilidad de que dos ejemplares tomados al azar pertenezcan a la misma especie. Mientras más alta es esta probabilidad menos diversa es la comunidad (Simpson, 1949).

Equidad de Pielou (J'). Describe como se distribuye la abundancia o el número de individuos de cada especie. El índice varía de 0 a 1 (la equidad máxima alcanzable es 1 e indica que las especies están igualmente distribuidas (Magurran, 1988).

Para este análisis se utilizó el programa PRIMER 7 (7.0.12) (PRIMER-e, 2016).

6.3.2 Análisis multivariados

Se utilizó un análisis de factores (AF), el cual es un método de reducción de datos que crea un número mínimo de variables latentes o factores a partir de combinaciones de las variables observadas, con lo cual se facilita la interpretación de la información (Kim, 1978). El AF se realizó en modo Q el cual da una mayor importancia a las correlaciones entre muestras, es decir, está basado en similitudes entre renglones o casos a diferencia del modo R que busca agrupar variables (Miesch, 1976; Hiram *et al.*, 2010); además, se utilizó una rotación VARIMAX y un valor de carga mínimo de 0.70.

Para este análisis se utilizó una matriz de abundancias relativas en la cual se consideraron solamente las especies presentes en al menos tres muestras y con un porcentaje mínimo del 1%. Este análisis se realizó mediante el programa STATISTICA 10.0 (Stat Soft, 2011).

6.3.3 Análisis de correlación y pruebas estadísticas

Los datos obtenidos de las tasas sedimentarias y abundancia absoluta de FB se sometieron a un análisis de correlación lineal r (Pearson) para conocer la correspondencia negativa o positiva entre estas (Hammer and Harper, 2006).

Además, se utilizó una prueba de z ($N > 30$) para observar posibles diferencias en las variaciones de lodos y arenas, así como en la TAM (tasa de acumulación másica) y TAS (tasa de acumulación sedimentaria) (Alperin, 2013). Se utilizó también una prueba t de student ($N < 30$) para evaluar las diferencias entre las variaciones de los índices de diversidad correspondientes a la distribución de factores (F1 y F2) obtenidos a partir del AF (Alperin, 2013).

7. RESULTADOS

7.1 Geocronología con ^{210}Pb y tasa de sedimentación.

De acuerdo al fechado con ^{210}Pb , los sedimentos en el núcleo se acumularon durante un periodo de ~30 años (entre 1989 y 2019 (año de muestreo)).

La TAM varió de 0.25 ± 0.02 a 0.38 ± 0.02 g cm⁻² año⁻¹.

Por otro lado, la TAS tuvo un intervalo de 0.26 ± 0.053 a 0.7 ± 0.13 cm año⁻¹. De 1989 (0.26 ± 0.05) hay una tendencia de aumento de la TAS hasta el año 1993 (0.56 ± 0.11). De aquí hasta 2017 (0.65 ± 0.11) los valores fueron casi constantes y presentaron un aumento hacia la superficie donde alcanzan su máximo valor en 2018 (0.73 ± 0.13) (Fig.2).

De acuerdo a la prueba de z realizada las variaciones de las tasas no fueron significativas ($Z_c = -15 < Z_t = 1.96$, $p > 0.05$).

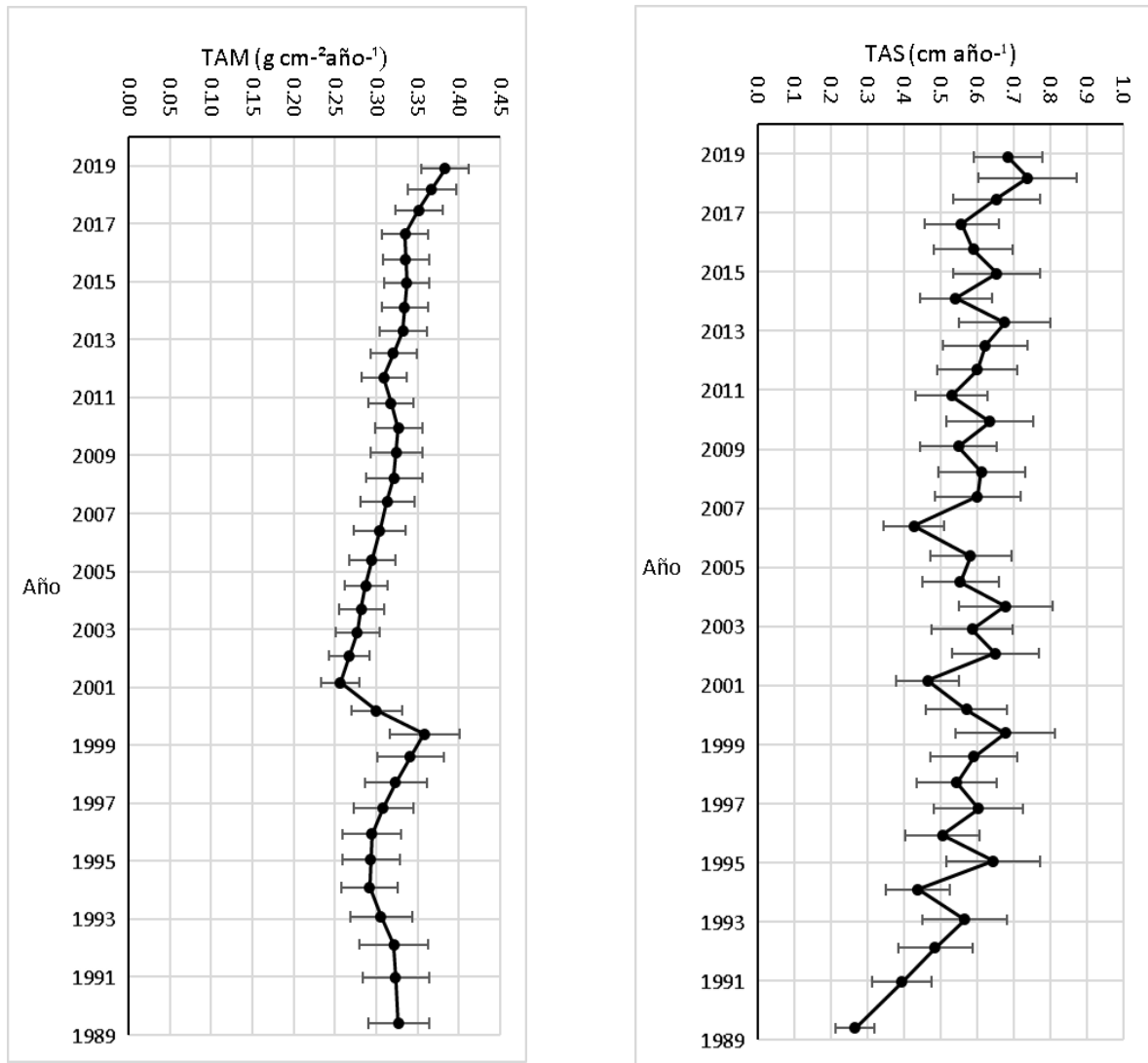


Fig.2 Perfil de variación temporal de los valores de Tasa de Acumulación Másica (TAM) y Tasa de Acumulación Sedimentaria (TAS) para el núcleo MAZ V E08 recolectado al Sur de Mazatlán, Sinaloa.

7.2 Porcentaje de arenas y lodos

De acuerdo con la clasificación textural de Folk (1969) los sedimentos se clasificaron como lodos (limos + arcillas) arenosos debido a los porcentajes que se presentaron de estos dos componentes a lo largo de la secuencia (Tabla 1, Fig. 3).

Tabla 1. Porcentaje de arenas y lodos (Lim+Arc) en las muestras del núcleo MAZ V E08 recolectado al Sur de Mazatlán, Sinaloa.

Muestra	Arenas (%)	Lim+Arc (%)
0.0-0.5	22.80	77.20
0.5-1.0	23.00	77.00
1.0-1.5	27.43	72.57
1.5-2.0	30.20	69.80
2.0-2.5	20.94	79.06
2.5-3.0	26.51	73.49
3.0-3.5	26.32	73.68
3.5-4.0	28.91	71.09
4.0-4.5	25.21	74.79
4.5-5.0	24.00	76.00
5.0-5.5	27.23	72.77
5.5-6.0	21.74	78.26
6.0-6.5	22.54	77.46
6.5-7.0	23.09	76.91
7.0-7.5	23.72	76.28
7.5-8.0	20.27	79.73
8.0-8.5	23.76	76.24
8.5-9.0	24.18	75.82
9.0-9.5	26.56	73.44
9.5-10.0	19.87	80.13
10.0-10.5	22.91	77.09
10.5-11.0	23.67	76.33
11.0-11.5	24.53	75.47
11.5-12.0	21.31	78.69
12.0-12.5	22.48	77.52
12.5-13.0	24.57	75.43
13.0-13.5	21.79	78.21
13.5-14.0	21.61	78.39
14.0-14.5	24.35	75.65
14.5-15.0	21.39	78.61
15.0-15.5	22.67	77.33
15.5-16.0	26.08	73.92
16.0-16.5	24.43	75.57
16.5-17.0	23.83	76.17

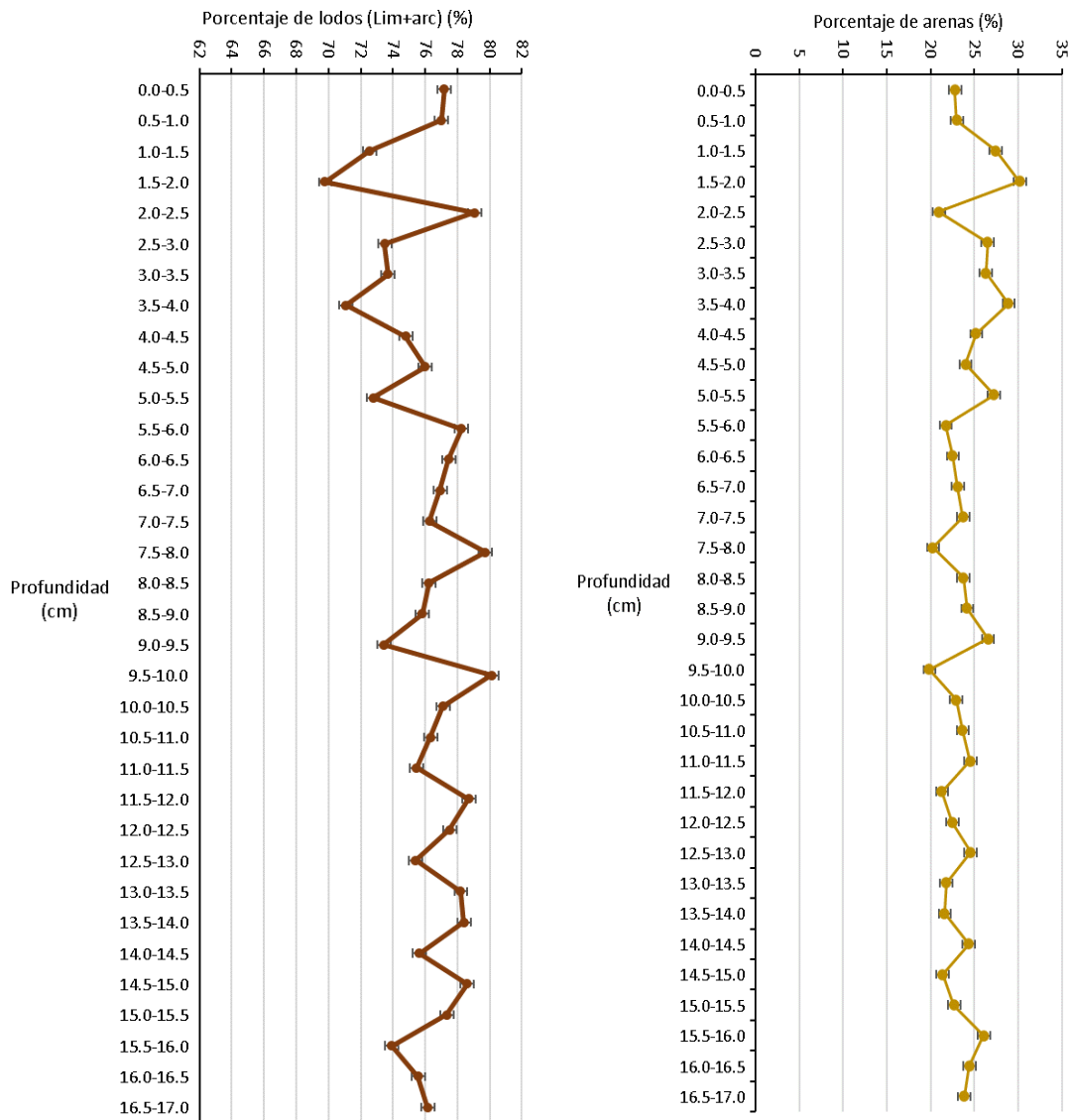


Fig.3 Porcentajes de lodos (Lim+arc) y arenas en el núcleo MAZ V E08 recolectado al Sur de Mazatlán, Sinaloa.

Los lodos presentaron un intervalo de 71.09 (± 0.0003) - 80.13 % (± 0.0003). El contenido de arenas mostró un intervalo de 19.87 (± 0.0003) a 30.20 % (± 0.0002) y una tendencia a disminuir (30.20 ± 0.0002 - 22.80 ± 0.0003 %) hacia secciones superficiales (1.5-2.0 a 0.0-0.5) del núcleo (Fig.3), mientras que en la parte final de la secuencia (16.5-17.0 a 15.5-16.0) se presentó un ligero aumento (23.83 ± 0.0002

– 26.08 ± 0.0003 %). De acuerdo a la prueba de z realizada estas variaciones no fueron significativas ($Z_c = -90 < Z_t = 1.96$, $p > 0.05$).

7.3 Concentración de oxígeno disuelto (OD)

De las tres repeticiones realizadas en la determinación de la concentración de OD se obtuvieron los siguientes datos:

Tabla 2. Gastos de tiosulfato (mL) en la medición de la concentración de OD para las estaciones E08 y E10 ubicadas al Sur de Mazatlán, Sin. Se indica la desviación estándar (DST) para cada muestra, así como la concentración de OD (mL/L).

Estación	Profundidad	Gastos de tiosulfato (mL)			DST	mL/L OD
E08	23	0.744	0.746	0.738	0.004	5.08
E10	33	0.416	0.408	0.406	0.005	2.81

La concentración de OD del agua de fondo en la estación de muestreo del núcleo MAZ V E08 fue de 5.08 mL/L (± 0.004) a 23 m de profundidad.

Dado que no fue posible que el CTD descendiera hasta el fondo por no dañar el equipo, se tomaron los valores a ~33 m en la estación más cercana (E10, 38.9 m de profundidad) en la cual se registró un valor de 2.81 mL/L (± 0.005) (Tabla 2.)

Así mismo, se consultaron las concentraciones de oxígeno disuelto, obtenidas para el sitio de estudio, en campañas oceanográfica previas (Tabla 3).

Tabla 3. Valores de oxígeno disuelto medidos en años previos para el Sur de Mazatlán, Sinaloa.

Campaña	Mes / Año de medición	Estación	Profundidad (m)	OD (mL/L)
MAZ I	Abril 2015	8	25	4.40
MAZ IV	Abril 2018	8	20	0.49
MAZ V	Abril 2019	8	23	5.08
MAZ V	Abril 2019	10	33	2.81

De acuerdo con la clasificación de Bernhard y Sen Gupta (1999) (Tabla 4) y según la concentración de OD para este estudio el ambiente del agua de fondo a 33 m (2.81 mL/L) se clasificó como óxico.

Tabla 4. Clasificación de los rangos límite de oxígeno según Bernhard y Sen Gupta (1999).

Zona	Concentración de OD (mL/L)
óxica	>1.0
disóxica	0.1 - 1.0
micróxica	< 0.1
anóxica	0

7.4 Foraminíferos bentónicos

7.4.1. Principales especies y su abundancia

En la muestra superficial MAZ V E08 (otro de los núcleos del multinucleador), recolectada a un lado del núcleo, se encontraron 30 especies agrupadas en 24 géneros. La abundancia absoluta fue de 856 Ind g⁻¹. Las especies dominantes (>5%) fueron: *N. stella* (19.3%), *B. marginata* (12.5%), *C. teretis* (9.6%), *Hanzawaia concentrica* (9.5%), *K. californiensis* (5.6%) y *N. atlantica* (5.2%), que conformaron el 71% de toda la muestra (Tabla 5).

En la muestra superficial MAZ IV E08 se encontraron tres especies con abundancias superiores al 5% que representaron el 86% de la población total: *N.stella* (59%), *K. californiensis* (21.9 %) y *B. marginata* (5.5 %) (Tabla 5).

Tabla 5. Especies más abundantes de las muestras superficiales MAZ IV E08 y MAZ V E08 para la zona marina frente a Mazatlán.

	MAZ IV (0.49 mL/L OD)	MAZ V (2.8 mL/L OD)
Especie	Abundancia relativa (%)	
<i>N. stella</i>	59	19.3
<i>K. californiensis</i>	21.9	5.6
<i>B. marginata</i>	5.5	12.5
<i>N. atlantica</i>	3.3	5.2
<i>F. compressa</i>	1.1	4.7
<i>C. teretis</i>	1.1	9.6
<i>H.concentrica</i>	0.5	9.5
<i>B.elegantissima</i>	2.1	4.3

Se indica el valor de OD para cada muestra.

N. stella se mantuvo como la más abundante en ambas muestras superficiales (MAZ IV y MAZ V), sin embargo, sus porcentajes fueron mayores (59 %) en MAZ IV y menores (19.3%) en MAZ V. De manera similar, *K.californiensis* presentó un mayor porcentaje (21.9%) en MAZ IV y uno menor (5.6%) en MAZ V. Por otro lado, *B.marginata* tuvo un menor porcentaje de 5.5% (en MAZ IV) y uno mayor de 12.5% (en MAZ V), mientras que *N. atlantica* presentó un porcentaje relativamente menor (3.3%) en MAZ IV y uno mayor (5.2%) en MAZ V. *C.teretis* tuvo una mayor abundancia de 9.6% en MAZ V y una menor de 1.1% en MAZ IV. Finalmente, *H.concentrica* mostró un porcentaje mayor de 9.5% en MAZ V y uno menor de 0.5% en MAZ IV (Tabla 5.)

De las 34 muestras revisadas en el núcleo se obtuvo un total de 10,448 organismos clasificados en 66 especies agrupadas en 31 géneros. Siete especies representaron el 71.7 % de la población total de FB: *Nonionella stella*, *Buliminella elegantissima*, *Reophax* sp., *Bulimina marginata*, *Cassidulina teretis*, *Kleinpella californiensis* y *Nonionella atlantica*, cada una con abundancias relativas entre 5 y 28 %.

A continuación, se describen sus variaciones con respecto a la profundidad (Figura 4):

- *Nonionella stella* (23.6-34.0 %) presentó las mayores abundancias a lo largo del núcleo, con valores >30% en las secciones de 2.0-2.5, 6.0-6.5 a 7.5-8.0, 12.0 -12.5, 13.0 -13.5, 13.5 -14.0, 14.0 -14.5, 15.5 -16.0 y 16.0 -16.5 cm de profundidad.

- *Buliminella elegantissima* (5.5-15.5 %) mostró mayores abundancias en el segmento basal del núcleo en la sección 16.0 a 17.0, así como de la sección 8.0 a 11.0 y de la sección 2.0 – 0.5 cm.

-*Reophax* sp. (7.2-14.3%) presentó las menores abundancias en las secciones superficiales (0.5-2.0 cm). De la sección 3.0 hacia 13.0 cm sus valores se mantuvieron más o menos constantes y disminuyen en la parte basal del núcleo

-*Bulimina marginata* (5.1-14.4%) presenta una distribución más o menos constante en todo el núcleo, excepto en la superficie (0 – 1.0 y 1.5 – 2.0 cm) donde presenta sus mayores abundancias.

-*Cassidulina teretis* (1.1 -10.7 %) mostró valores más altos en la mitad inferior del núcleo y menores de la sección 6.5 cm a la superficie.

- *Kleinpella californiensis* (2.9-8.9%) mostró abundancias similares a lo largo del núcleo excepto por dos pequeños picos de abundancia en las secciones 8.0-8.5 y 2.5-3.0 cm.

- *Nonionella atlantica* (1.6 -12.8 %) mostró abundancias casi homogéneas en la parte inferior del núcleo, que aumentan en la parte superior (3.0 cm a la superficie).

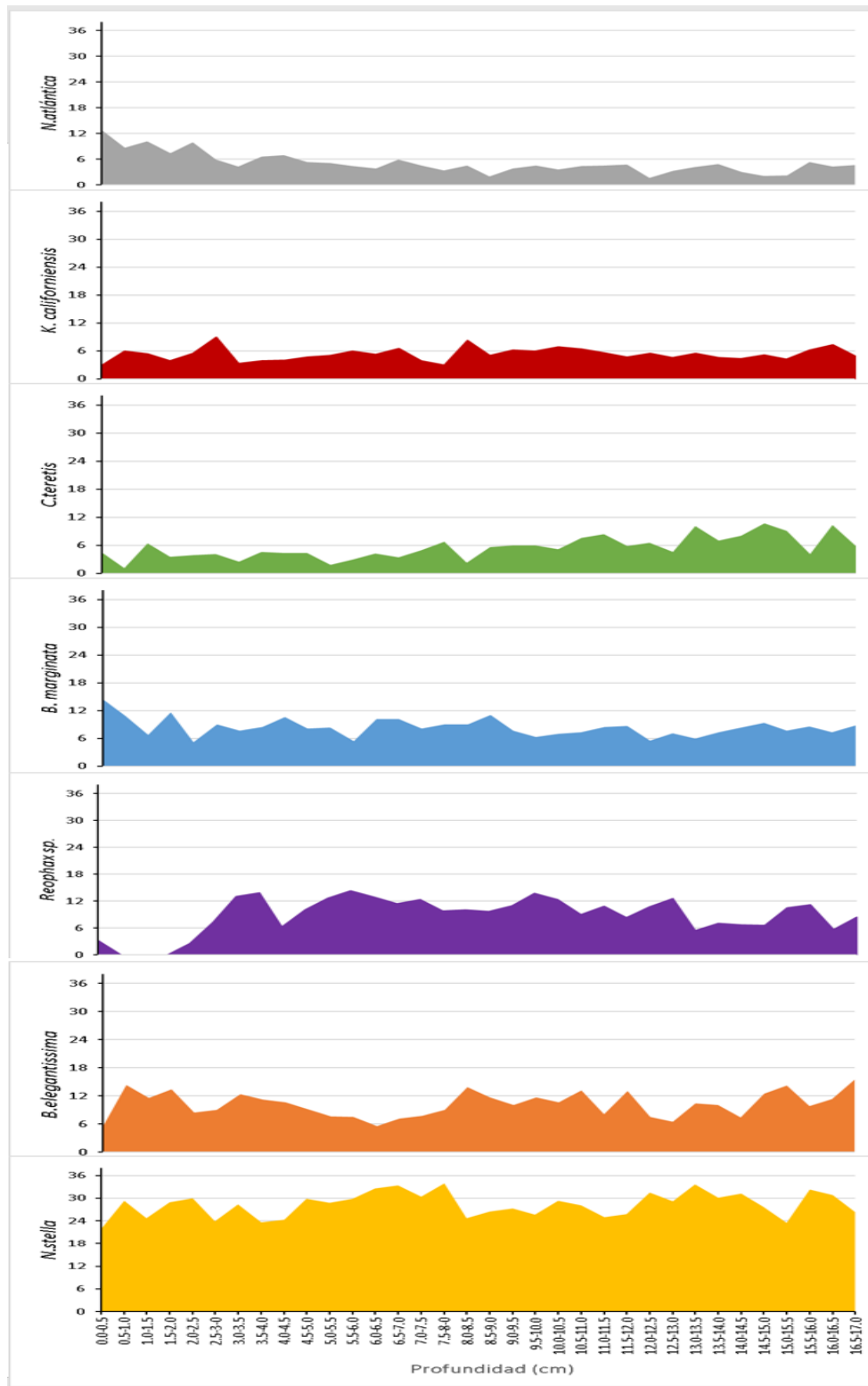


Fig.4 Variación en la abundancia relativa (%) de las principales especies de FB en el núcleo MAZ V E08.

La abundancia absoluta de FB varió entre 448 y 1076 Ind g⁻¹ (promedio 772±158). Se observó la mayor abundancia en la muestra de 9.5-10.0 cm (1,076 organismos) y la menor en la sección 16.5-17.0 (448 organismos) (Fig. 5).

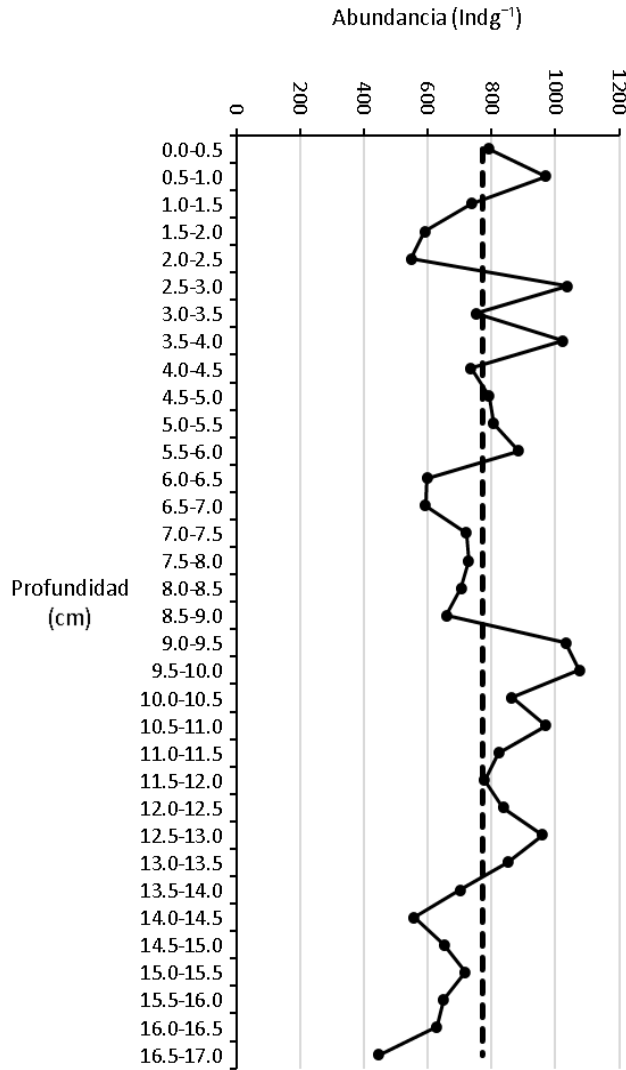


Fig.5 Variación de la abundancia absoluta de foraminíferos bentónicos en el núcleo MAZ V E08 recolectado al Sur de Mazatlán, Sinaloa. La línea punteada indica el promedio (772 Ind g⁻¹).

Se calculó el flujo de organismos (Ind cm⁻² año⁻¹) en el sitio de estudio multiplicando la TAM (g cm⁻² año⁻¹) por la abundancia absoluta de FB (Ind g⁻¹; Fig.6). Se observaron los mayores flujos en la parte superior del núcleo (2013 – 2019, máximo

de 356 Ind cm⁻² año⁻¹) y los menores en la parte basal de la secuencia (1989, 147 Ind cm⁻² año⁻¹).

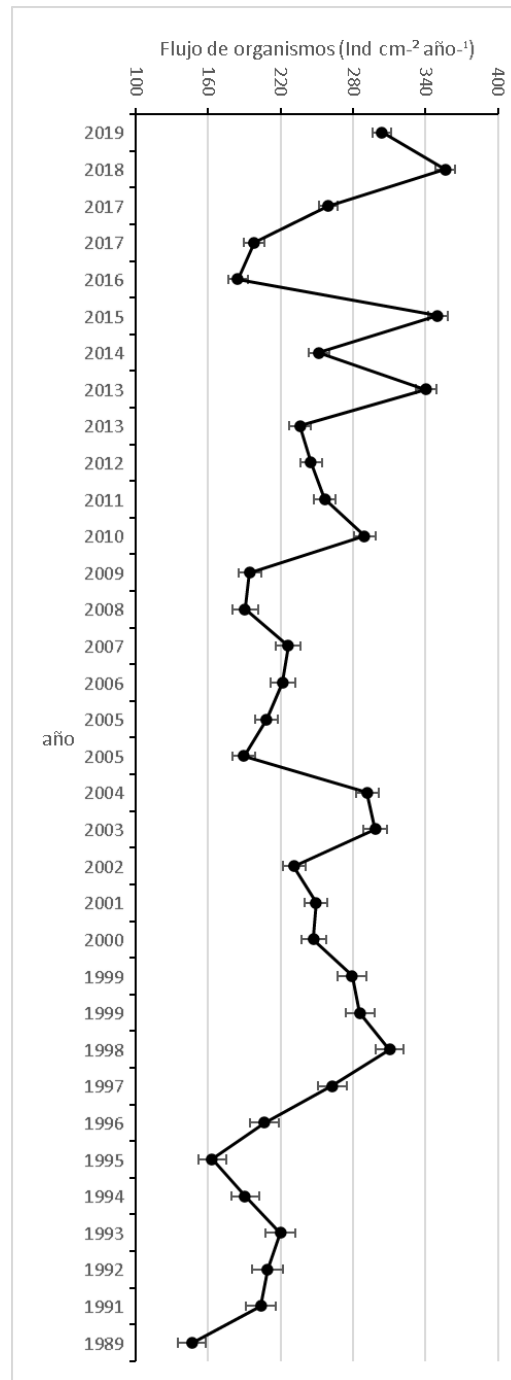


Fig.6 Flujo de FB en el núcleo MAZ V E08 recolectado al sur de Mazatlán, Sinaloa. Se muestra la incertidumbre correspondiente a cada punto.

7.4.2 Índices de diversidad

Los índices de diversidad para las muestras superficiales (Tabla 6.) indican que la riqueza, la diversidad y la equidad son mayores para MAZ V E08 que para MAZ IV E 08 y que la dominancia es mayor en esta última.

Tabla 6. Índices de diversidad para muestras superficiales (MAZ V y MAZ IV).

Muestra/Índice	Riqueza (S)	Diversidad (H')	Equidad (J')	Dominancia (λ)
MAZ IV E08	12	1.36	0.55	0.40
MAZ V E08	30	2.74	0.81	0.09

Los perfiles temporales de todos los índices para el núcleo mostraron amplias fluctuaciones con máximos y mínimos a lo largo del mismo. La riqueza (S) fue de 20 a 31 taxones con un promedio de 26. La mayor riqueza ocurrió en la sección 1.5-2.0, mientras que los valores más bajos se presentaron en la sección 13.5-14.0, con 20 taxones. La diversidad (H') presentó valores de 2.37- 2.71 (promedio 2.51). La mayor diversidad ocurrió en la sección 0.0-0.5 (2.71) y la menor en la sección 15.5-16.0 (2.37). La equidad (J') mostró valores de 0.72-0.81 (promedio 0.77). El índice presentó fue mayor en las secciones 0.0-0.5, 1.0-1.5 (0.81), 2.5-3.0 (0.81) y 13.5-14.0 (0.81) y presentó los valores más bajos en la sección 7.5-8.0 (0.72). El índice de dominancia de Simpson (D') presentó valores entre 0.10 y 0.16, con un promedio de 0.13. El valor más alto se encontró en 7.5-8.0 (0.16) y los más bajos en las secciones 0.0-0.5 (0.10) y 2.5- 3.0 (0.10) (Fig.7).

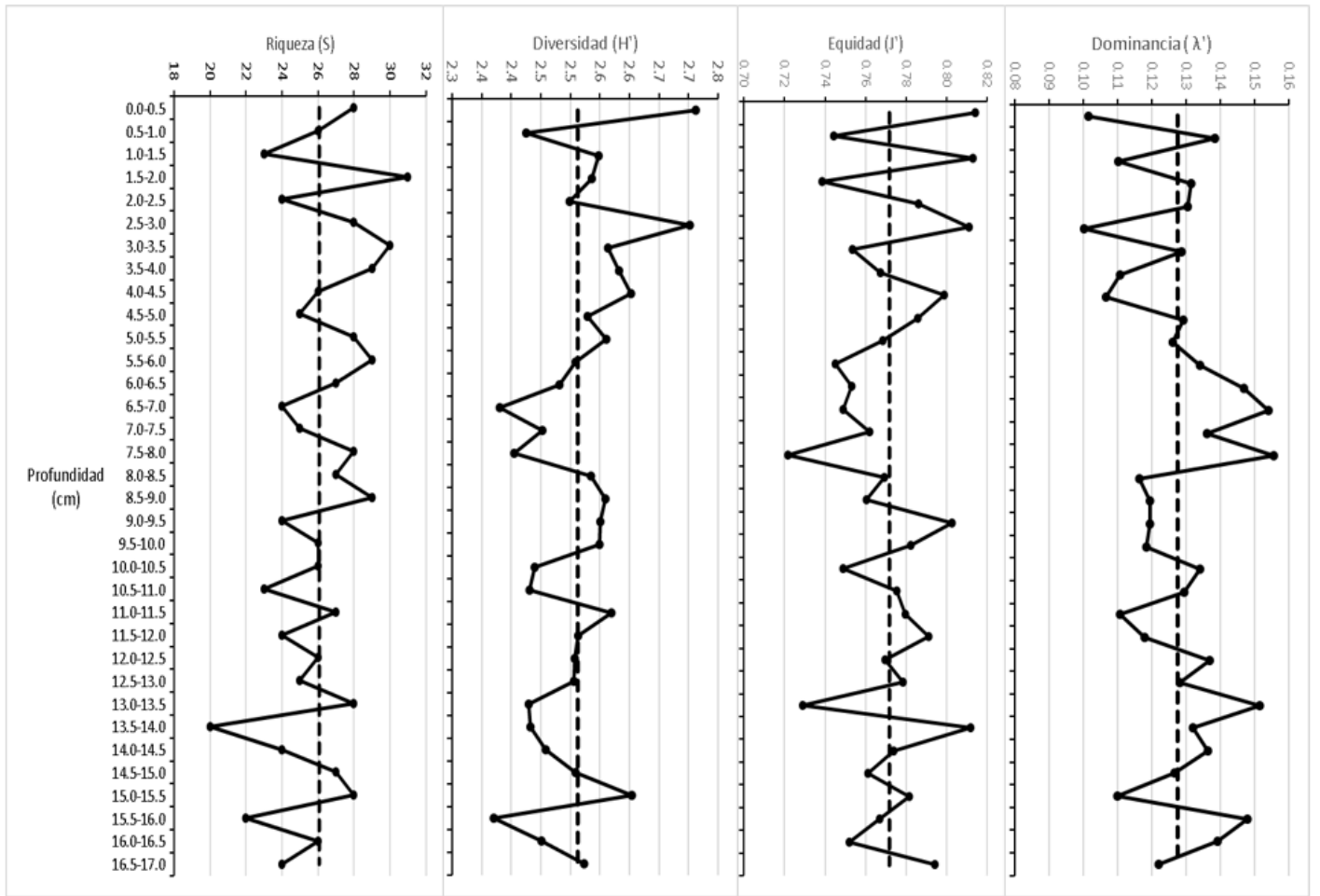


Fig.7 Variaciones de los índices de diversidad de FB en el núcleo MAZ V E08 recolectado al sur de Mazatlán, Sinaloa. Las líneas punteadas indican el promedio de cada índice.

Los índices de diversidad no mostraron diferencias significativas entre los dos factores obtenidos para el núcleo MAZ V E08 (Tabla 7, 8).

Tabla 7. Valores de índices de diversidad correspondientes a cada factor obtenido para el núcleo MAZ V E08.

Factor representante	Muestra	Riqueza (S)	Equidad (J')	Diversidad (H')	Dominancia (λ')
Factor 2	0.0-0.5	28	0.81	2.71	0.10
	0.5-1.0	26	0.74	2.43	0.14
	1.0-1.5	23	0.81	2.55	0.11
	1.5-2.0	31	0.74	2.54	0.13
	2.0-2.5	24	0.79	2.50	0.13
	4.0-4.5	26	0.80	2.60	0.11
Factor 1	2.5-3.0	28	0.81	2.70	0.10
	3.0-3.5	30	0.75	2.56	0.13
	3.5-4.0	29	0.77	2.58	0.11
	4.5-5.0	25	0.79	2.53	0.13
	5.0-5.5	28	0.77	2.56	0.13
	5.5-6.0	29	0.74	2.51	0.13
	6.0-6.5	27	0.75	2.48	0.15
	6.5-7.0	24	0.75	2.38	0.15
	7.0-7.5	25	0.76	2.45	0.14
	7.5-8.0	28	0.72	2.41	0.16
	8.0-8.5	27	0.77	2.54	0.12
	8.5-9.0	29	0.76	2.56	0.12
	9.0-9.5	24	0.80	2.55	0.12
	9.5-10.0	26	0.78	2.55	0.12
	10.0-10.5	26	0.75	2.44	0.13
	10.5-11.0	23	0.78	2.43	0.13
	11.0-11.5	27	0.78	2.57	0.11
	11.5-12.0	24	0.79	2.51	0.12
	12.0-12.5	26	0.77	2.51	0.14
	12.5-13.0	25	0.78	2.51	0.13
	13.0-13.5	28	0.73	2.43	0.15
	13.5-14.0	20	0.81	2.43	0.13
14.0-14.5	24	0.77	2.46	0.14	
14.5-15.0	27	0.76	2.51	0.13	
15.0-15.5	28	0.78	2.60	0.11	
15.5-16.0	22	0.77	2.37	0.15	
16.0-16.5	26	0.75	2.45	0.14	
16.5-17.0	24	0.79	2.52	0.12	

Tabla 8. Valores obtenidos de la prueba de t para índices de diversidad de Factor 1 y Factor 2

Índice	Resultados prueba t ($p > 0.05$)
Riqueza (S)	0.81
Diversidad (H')	0.27
Equidad (J')	0.39
Dominancia (λ')	0.21

7.4.3 Análisis multivariado

Para el análisis de factores, se usó una matriz de abundancias relativas, que incluyó las 20 especies que cumplieron la condición de presencia en más de tres muestras, con un mínimo de abundancia relativa del 1%.

El resultado de este análisis, en su modalidad Q (relación entre muestras), agrupa 2 factores que explican el 95.36% de la varianza (Tabla 9.).

En el factor 1, el cual tiene un eigenvalue de 31.55 (que indica la importancia de cada factor en los datos) y el 92.80 % de la varianza explicada, se agrupa el mayor número de muestras desde 17.0 hasta 2.5-3.0 cm, a excepción de la muestra 4.0-4.5 (Tabla 10). El factor 2 con un eigenvalue de 0.87 y 2.56% de la varianza, agrupa a las muestras superficiales de 0.0-0.5 a 2.0-2.5 y la muestra 4.0-4.5 (Tabla 10.) la cuál presentó también una carga de factor alta (0.66) en el factor 1, por lo que se puede considerar como una muestra intermedia con características de ambos factores. La carga de factor o *factor loading* señala la importancia del factor en cada muestra.

Tabla 9. Eigenvalues y porcentajes de varianza explicada obtenidos para cada factor. Se muestra también el valor acumulativo de estos.

Factor	Eigenvalue	% Total variance	Cumulative Eigenvalue	Cumulative %
1	31.55	92.80	31.55	92.80
2	0.87	2.56	32.42	95.36

Tabla 10. Cargas de factor 1 (F1) y factor 2 (F2) (>0.70) y varianza explicada (Expl.Var.) (%) para cada muestra (Variable) del núcleo MAZ V E08 recolectado al sur de Mazatlán, Sinaloa.

Año	Variable	F1	F2
2019	0.0-0.5	0.43	0.81
	0.5-1.0	0.51	0.84
	1.0-1.5	0.47	0.86
	1.5-2.0	0.53	0.83
2016	2.0-2.5	0.60	0.74
	2.5-3.0	0.73	0.65
	3.0-3.5	0.84	0.50
	3.5-4.0	0.85	0.48
2012	4.0-4.5	0.66	0.71
	4.5-5.0	0.80	0.58
	5.0-5.5	0.83	0.50
	5.5-6.0	0.87	0.44
	6.0-6.5	0.84	0.50
2007	6.5-7.0	0.80	0.57
	7.0-7.5	0.84	0.52
	7.5-8.0	0.81	0.57
	8.0-8.5	0.78	0.56
	8.5-9.0	0.81	0.55
2003	9.0-9.5	0.84	0.53
	9.5-10.0	0.88	0.46
	10.0-10.5	0.86	0.50
	10.5-11.0	0.79	0.59
	11.0-11.5	0.83	0.52
1999	11.5-12.0	0.76	0.61
	12.0-12.5	0.85	0.48
	12.5-13.0	0.87	0.47
	13.0-13.5	0.73	0.64
1994	13.5-14.0	0.76	0.63
	14.0-14.5	0.76	0.61
	14.5-15.0	0.74	0.61
	15.0-15.5	0.81	0.50
1989	15.5-16.0	0.82	0.57
	16.0-16.5	0.72	0.65
	16.5-17.0	0.75	0.62
	Expl.var	20.02	12.40

A la izquierda se indica el año correspondiente de acuerdo al fechado con ²¹⁰Pb.

Se identificaron las especies que determinaron la fauna de cada factor de acuerdo a la carga que presentaron (Tabla 11.). La interpretación del AF se realiza mediante los *factor scores* (valor del factor) que permiten identificar a las especies más importantes en cada factor (con un valor >1). En el factor 1 las especies

características fueron *N.stella*, *Reophax* sp.(carga positiva) y *N.atlantica* (carga negativa). El factor 2 estuvo representado por *N. stella*, *N.atlantica*, *B.marginata*, *B.elegantissima* (carga positiva) y *Reophax* sp (carga negativa).

Tabla 11. Valores de factor de las especies identificadas en el factor 1 (F1) y factor 2 (F2) en el núcleo MAZ V E08 recolectado al sur de Mazatlán, Sinaloa.

Especies	F1	F2
<i>Ammonia tepida</i>	-0.10	-0.31
<i>Bolivina lowmani</i>	-0.38	-0.15
<i>Bulimina marginata</i>	-0.17	1.17
<i>Buliminella elegantissima</i>	0.30	1.04
<i>Cassidulina crassa</i>	0.02	-0.07
<i>Cassidulina teretis</i>	0.16	-0.03
<i>Eggerella</i> sp.	-0.56	-0.37
<i>Elphidium discoideale</i>	-0.11	-0.17
<i>Elphidium</i> sp.2 (c.f. <i>haynessina</i>)	-0.47	-0.55
<i>Fursenkoina compressa</i>	-0.79	0.30
<i>Hanzawaia concentrica</i>	-0.26	0.06
<i>Haplophragmoides advena</i>	-0.44	-0.46
<i>Kleinpella californiensis</i>	0.13	-0.04
<i>Lagenammia atlantica</i>	-0.46	-0.49
<i>Neoeponides</i> sp.	-0.37	-0.43
<i>Nonionella stella</i>	2.79	2.49
<i>Nonionella atlántica</i>	-1.15	1.56
<i>Quinqueloculina</i> sp.	-0.38	-0.61
<i>Reophax</i> sp.	2.72	-2.44
<i>Textularia juv.</i>	-0.50	-0.52

8. DISCUSIÓN

En el presente estudio se utilizaron diferentes herramientas para determinar posibles variaciones en la concentración de OD en el sitio de trabajo, durante los últimos 30 años. Diversos estudios reportan que las poblaciones de FB son abundantes, poco diversas y con alta dominancia en ambientes disóxicos (ver Sen Gupta y Machain-Castillo, 1993). Esto se observó en la muestra MAZ IV (OD = 0.49 mL/L) en donde el 86% de la población de FB vivos estuvo conformado por 3 especies, a diferencia de lo encontrado en la muestra MAZ V E08 (OD = 2.81 mL/L)

en donde 6 especies constituyeron el 71% de la población total. La abundancia absoluta y los flujos de FB en el núcleo estudiado variaron entre 448 y 1076 Ind g⁻¹ y entre 147 y 356 Ind cm⁻² año⁻¹, respectivamente, valores considerados como comunes en zonas de plataforma interna marina, sin condiciones estresantes como las propiciadas por bajas concentraciones de OD (Murray, 2006).

Por otra parte, los flujos de FB siguen una tendencia similar a la de las TAS ($r = 0.49$; $p < 0.05$), lo cual sugiere que no ha habido episodios diferenciales de uno con respecto al otro, como serían altos aportes de sedimentos (ni del estero de Urías, ni de la zona marina) que pudieran diluir la concentración de FB. Los sedimentos fueron lodo-arenosos en todo el núcleo y las TAS y TAM no presentaron diferencias significativas a lo largo del mismo. Lo anterior sugiere que estos parámetros no han modificado la abundancia y flujos de FB en el núcleo estudiado y la ausencia de descargas inusuales de sedimento a la zona provenientes ni de la zona costera (e.g. debido a cambio de uso de suelo, desechos industriales) ni de la marina (huracanes, etc.). De las 70 especies identificadas a lo largo del núcleo 7 representaron el 71.7 % de la población total: *Nonionella stella* (23-34%) *Buliminella elegantissima* (5.4-15.5 %), *Reophax* sp. (7.2-14.3%). *Bulimina marginata* (5.1-14.4%), *Cassidulina teretis* (1.1-10.7 %), *Kleinpella californiensis* (2.9-8.9%) y *Nonionella atlantica* (1.6-12.8 %). En la muestra de FB vivos (MAZ V E08, misma localidad que el núcleo) aparece *H. concentrica* entre las especies más abundantes, además de las especies arriba mencionadas (excepto *B.elegantissima* y *Reophax* sp.)

A continuación, se presentan las condiciones ecológicas (en lo referente a OD) de las especies, para después inferir lo que indican las asociaciones a lo largo del núcleo. Las especies más abundantes en este estudio pertenecen a géneros reportados en zonas de hipoxia (Pérez-Cruz y Machain-Castillo, 1990; Sen Gupta y Machain-Castillo, 1993; Almaraz-Ruiz, 2017; Ontiveros *et al.*, 2019), aunque ninguno es exclusivo de zonas hipóxicas. *N.stella* ha sido reportada en ambientes < 0.1 mL/L (Bernhard y Sen Gupta, 1999; Páez *et al.*, 2001) y es referida como la más tolerante a bajas concentraciones de OD (<0.1 mL/L) en la cuenca de Santa Bárbara (Phleger y Soutar, 1973).

Buliminella elegantissima se ha reportado como abundante en las costas sur (Páez *et al.*, 2001) y norte de Chile (Castillo *et al.*, 2021), en 56 y 30m de profundidad y concentraciones de OD de 0.5 mL/L y de 1.0 a 2.0 mL/L, respectivamente. De manera similar, se encontró predominando (71 %) en ambientes disóxicos (0.3-1.5 mL/L) y subóxicos (1.5-3.0 mL/L) en el golfo Nuevo, Argentina (Bernasconi *et al.*, 2009).

La especie determinada como *Reophax* sp. no se encontró en la literatura consultada, aunque algunas especies de este género (*R. gracilis* y *R. bilocularis*) han sido reportadas dentro de la ZOM en Baja California y la cuenca de San Pedro, Cal. (Kaminski *et al.*, 1995; Phleger y Soutar, 1973).

Bulimina marginata es un constituyente conspicuo de las asociaciones de FB en ambientes disóxicos en Noruega (Bernhard y Sen Gupta, 1999). Rangel (2004) la encuentra abundante de 58-75 m (14 y 16 %) en concentraciones de OD de 4.6-4.8 mL/L en las costas de Sinaloa. Por otro lado, al norte de Chile sus mayores densidades (42.6 Ind/ 50 cm³) se reportan a 70 m en una concentración de 0.5 mL/L (Castillo *et al.*, 2021).

Kleinpella californiensis se reconoció como indicativa de bajas concentraciones de OD (0.1-1.0mL/L) de la formación Monterey en California (Ingle, 1985; Finger *et al.*, 1990).

Cassidulina teretis se reportó como abundante en el norte del GM durante el evento de derrame de petróleo de la plataforma Deepwater Horizon (2010); estuvo presente de 2011 a 2015 y se considera como capaz de tolerar la disminución de OD (Young *et al.*, 2021).

Nonionella atlantica se ha reconocido en el GT como abundante (27.7%) a 98 m de profundidad bajo concentraciones de 0.3-0.5 mL/L (Pérez-Cruz y Machain-Castillo, 1990). Para la plataforma de Louisiana y las costas de Texas (Osterman, 2003) se reportan abundancias de 13-37% a profundidades de 16-48 m bajo condiciones de hipoxia (< 1.4 mL/L). No es una especie comúnmente reportada dentro de las

asociaciones encontradas en la ZOM del Pacífico este (Sen Gupta y Machain-Castillo, 1993).

Hanzawaia concentrica se encontró en la plataforma continental externa del GT a concentraciones de OD entre 0.5 y 0.1 mL/L (Pérez-Cruz y Machain-Castillo, 1990).

De acuerdo con sus características ecológicas, todas las especies arriba mencionadas pueden encontrarse en ambientes disóxicos, aunque no se ha encontrado ninguna especie que sea exclusiva de estos ambientes, sino más bien que las especies arriba mencionadas, son capaces de adaptarse a las bajas concentraciones de OD (Sen Gupta *et al.*, 2009). Sin embargo, el análisis de los FB vivos en las muestras superficiales, nos indica que bajo condiciones óxicas *B. marginata* (12.5%), *B. elegantissima* (4.3%) y *N. atlántica* (5.2%) aumentan, mientras que bajo condiciones disóxicas (0.49 mL/L), estas especies disminuyen y *N. stella* constituye más del 50% de la población total.

Tomando en cuenta lo anterior, la asociación del Factor 2, caracterizado por las especies *N. stella*, *N. atlántica*, *B. marginata* y *B. elegantissima* (~2016-2019) indicaría condiciones de mayor cantidad de OD en la parte superficial del núcleo (2.0- 2.5 cm a la superficie). Por otro lado, la asociación del Factor 1 (base del núcleo hasta ~ 2015) representado por *N. stella*, *Reophax sp.* y *N. atlántica* sugiere condiciones menos oxigenadas para el resto del núcleo (2.5-3.0 cm a la base del núcleo). En este mismo sentido, se observó que los índices de diversidad obtenidos para cada factor en el núcleo no presentaron diferencias significativas, lo cual sugiere que las variaciones en el OD a lo largo del núcleo MAZ V E08 no fueron suficientes para modificar significativamente la diversidad.

De acuerdo con Ontiveros-Cuadras *et al.*, (2019) la ZOM frente a las costas de Mazatlán (105 – 1463 m de profundidad) se ha contraído y debilitado en el último siglo. El núcleo estudiado se encuentra en una zona más somera, por encima de la ZOM y sólo representa los últimos 30 años; sin embargo, se aprecia un cambio hacia una mayor oxigenación de ~2016 a la superficie del núcleo (2019). Ochoa-Ramos (2020) analizó un núcleo tomado en el mismo sitio de muestreo con el

propósito de evaluar niveles de contaminación y metales pesados. Los resultados indicaron una contaminación mínima o nula y las concentraciones de metales pesados que no hay riesgos de efectos nocivos para la fauna bentónica.

Los metales pesados como, Mn, As, Pb, Cu, Zn, Ni, Cd, Hg y Cr son componentes comunes de fertilizantes y plaguicidas (Frías-Espiricueta *et al.*, 2010; Rodríguez-Ortiz *et al.*, 2014). A su vez, estos pueden ser transportados al medio marino a través del vertido de aguas residuales las cuales van acompañadas también de fosfatos y nitratos (Rabalais, 2006) promoviendo la eutrofización del medio lo cual conduce a un incremento en la cantidad de M.O (Alonso-Rodríguez *et al.*, 2000). Cuando este proceso persiste, el oxígeno disminuye como resultado de la oxidación de la M.O en la columna de agua y en el fondo (Rabalais, 2006) y modifica la estructura de las comunidades eliminando a los organismos menos resistentes a estas condiciones, entre otros (Escobedo-Urías, 2010).

9. CONCLUSIONES

- El fechado con ^{210}Pb indicó una edad de ~30 años (2019-1989) para el núcleo MAZ V E08.
- Los sedimentos analizados se clasificaron como lodo-arenosos.
- El ambiente para el sitio muestreado en abril 2019 fue de carácter óxico.
- Se determinaron un total de 66 especies agrupadas en 31 géneros. Siete especies representaron el 71.7 % de la población total: *Nonionella stella*, *Buliminella elegantissima*, *Reophax sp.*, *Bulimina marginata*, *Cassidulina teretis*, *Kleinpella californiensis* y *Nonionella atlantica*, cada una con porcentajes entre 5 y 28 % de abundancia relativa total.
- El análisis de factores indicó dos asociaciones a lo largo del núcleo: La primera de la base hasta ~ 2015 (*N. stella*, *Reophax sp.* y *N. atlantica*) que indicó condiciones de menor oxigenación que la segunda asociación de

~2016 a 2019 (*N. stella*, *N.atlantica*, *B.marginata* y *B.elegantissima*, y *Reophax sp*).

- No se encontró evidencia de condiciones de hipoxia severa en el sitio de estudio de ~1989 al 2019 ni por la composición taxonómica de las poblaciones de FB ni por sus patrones de dominancia. Lo anterior sugiere que las fuentes de contaminación y vertido de materia orgánica, como la planta de tratamiento de aguas residuales, podrían no alcanzar a impactar de manera directa en el sitio de muestreo, o que el impacto no ha sido suficiente para causar hipoxia durante los últimos 30 años en el sitio de estudio.

Referencias

Aldana-Gutiérrez G. (2019). Variación temporal de indicadores del cambio global en la laguna Estero de Urías: flujos de metales pesados y materia orgánica. (Tesis de Maestría). Universidad Nacional Autónoma de México. Mazatlán, Sinaloa.

Almaraz-Ruiz. L. (2017). Variabilidad de las surgencias en el Golfo de Tehuantepec durante el último siglo a través del registro sedimentario de diatomeas y foraminíferos bentónicos. (Tesis de Maestría). Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México.

Alonso-Rodríguez, R., Páez-Osuna, F., & Cortés-Altamirano, R. (2000). Trophic Conditions and Stoichiometric Nutrient Balance in Subtropical Waters Influenced by Municipal Sewage Effluents in Mazatlán Bay (SE Gulf of California). *Marine Pollution Bulletin*, 40(4), 331–339

Alonso-Rodríguez, R. (2004). Hidrología y condiciones ambientales que determinan la proliferación de dinoflagelados causantes de marea roja en la bahía de Mazatlán, Sin. México. Tesis de Doctorado. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste.

Alperin, M. (2013). Introducción al Análisis Estadístico de Datos Geológicos; Editorial de la Universidad de La Plata: La Plata, Argentina.

Ballestra, S., Gastaud, J., Lopez, J.J., Parsi, P., Vas, D. (1994). Intercomparison of Radionuclide Measurements on Marine Sediment Sample IAEA-300 (No. IAEA-AL-64). International Atomic Energy Agency, Mónaco, 63 pp.

Baxter, J. M. (2019). La desoxigenación de los océanos: un problema de todos. Resumen para los responsables de formular políticas. IUCN, International Union for Conservation of Nature. Begon, M., Harper, J., Townsend L. (1999).

Ecología, Individuos, Poblaciones y Comunidades. 3ª Edición. Omega. barcelona, 1148p.

Begon M., Harper J.L., Townsend C.R. 1999. Ecología: individuos, poblaciones y comunidades. BIOLOGIA Y CIENCIAS DE LA VIDA-ECOLOGÍA. Barcelona:Omega.

Bernal, J. P., Beramendi -Orosco, L. E., Lugo-Ibarra, K. C., y Daesslé, L. W. (2010). Revisión a algunos geocronómetros radiométricos aplicables al Cuaternario. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 62(3), 305-323.

Bernasconi, E., Cusminsky, G. y Gómez, E.A. (2009). Foraminíferos bentónicos del Holoceno del Golfo Nuevo, Argentina: inferencias paleoclimáticas. *Revista Española de Micropaleontología*, 41 (1-2):21-34.

Bernhard, J. M., & Sen Gupta, B. K. (1999). Foraminifera of oxygen-depleted environments. In B. K. Sen Gupta (Ed.), *Modern foraminifera* (201–216). Great Britain: Kluwer Academic Publishers.

Boltovskoy, E. (1965). Los Foraminíferos recientes. Biología, métodos de estudio, aplicación oceanográfica. Edit. Eueba Buenos Aires. 510.

Boltovskoy, E. (1972). Nota sobre los valores mínimos de oxigenación que pueden soportar los foraminíferos bentónicos. Sociedad de Biología de Concepción, *Boletín*, 44:135-144.

Castillo, A., Hromic, T., Uribe, R. A., Valdés, J., Sifeddine, A., Quezada, L., Vega, S.E., Arencibia, A., Díaz-Ochoa, J. & Guiñez, M. (2021). Living (stained) calcareous benthic foraminiferal assemblages (>125µm) in a coastal upwelling zone of the Humboldt Current System, Northern Chile (~27°S). *Regional Studies in Marine Science*, 44, 101725.

CONABIO-CONANP-TNC-PRONATURA. (2007). Análisis de vacíos y omisiones en conservación de la biodiversidad marina de México: océanos, costas e islas. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, The Nature Conservancy -Programa México, Pronatura, A.C. México, D.F

Choumiline, K., Pérez-Cruz, L., Gray, A. B., Bates, S. M., & Lyons, T. W. (2019). Scenarios of Deoxygenation of the Eastern Tropical North Pacific during the Past Millennium as a Window into the Future of Oxygen Minimum Zones. *Frontiers in Earth Science*, 7.

DeLaune, R.D., W.H. Patrick Jr., and R.J. Buresh. (1978). Sedimentation rates determined by ¹³⁷Cs dating in a rapidly accreting salt marsh. *Nature* 275:532–533.

Denne, R. A., & Sen Gupta, B. K. (1993). Matching of benthic foraminiferal depth limits and water-mass boundaries in the northwestern Gulf of Mexico; an investigation of species occurrences. *The Journal of Foraminiferal Research*, 23(2), 108–117.

Díaz-Asencio, M., Sánchez-Cabeza, J.-A., Ruiz-Fernández, A. C., Corcho-Alvarado, J. A., & Pérez-Bernal, L. H. (2020). Calibration and use of well-type germanium detectors for low-level gamma-ray spectrometry of sediments using a semi-empirical method. *Journal of Environmental Radioactivity*, 225, 106385.

Douglas, R. G. (1979). Benthic foraminiferal ecology and paleoecology: a review of concepts and methods. Society of Economic Pale- ontologists and Mineralogists, Short Course, 6.

Emery, K. O., & J. Hulseman. (1961). The relationship of sediments, life and water in marine basins. *Deep-Sea Research*, 8:16.

Engen, S. (1979). Some basic concepts of ecological equitability, in *Ecological Diversity* In: Grassle, J. F., Patil, G. P., Smith, W., and Taillie, C. (eds.) Theory and Practice. International Cooperative Publishing House, Fairland, Maryland, p. 37- 50.

Escalante-Almazán, F., Valdez-Holguín J.E., Álvarez-Borrego S. Lara-Lara J.R. (2013). Temporal and spatial variation of sea surface temperature, chlorophyll a, and primary productivity in the Gulf of California. *Ciencias Marinas*, 39(2), 203–215.

Escobedo-Urías D.C. (2010). DIAGNÓSTICO Y DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE EUTROFIZACIÓN EN LAGUNAS COSTERAS DEL NORTE DE SINALOA. (Tesis de Doctorado). Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional. La Paz, B.C.S.

Finger, K. L., Lipps, J. H., Weaver, J. C. B., & Miller, P. L. (1990). Biostratigraphy and Depositional Environments of Calcareous Microfossils in the Lower Monterey Formation (Lower to Middle Miocene), Graves Creek Area, Central California. *Micropaleontology*, 36(1), 1.

Fisher, R.A., Corbet, A.S., Williams, C.B. (1943). The relationship between the number of Species and the number of individuals in a random sample of an animal population. *J. Anim. Ecol.* 12, 42–58.

Fischer, G., & Wefer, G. (Eds.). (1999). *Use of Proxies in Paleoceanography*. Springer Berlin.

Flores-Vanegas, M.I. (2014). Fechado de sedimentos marinos para determinar tasas de sedimentación en el Golfo de Fonseca, La Unión, El Salvador. (Tesis de Licenciatura). Ciudad Universitaria, San Salvador.

Flynn, W. W. (1968). The determination of low levels of polonium-210 in environmental materials. *Analytica Chimica Acta*, 43: 221-227.

Folk, R.L. (1969). Petrología de las Rocas Sedimentarias, traducido por Schaefer, C. y P.M de Scmitter. Instituto de Geología, UNAM. 42-121.

Frías-Espéricueta M. G., Osuna-López J. I., Izaguirre-Fierro G., Aguilar-Juárez M. y Voltolina D. (2010). Cadmio y Plomo en organismos de importancia comercial de la zona costera de Sinaloa, México: 20 años de estudios.

CICIMAR Oceánides. 25, 27-39.

Gooday, A.J., (1986). Meiofaunal foraminiferans from the bathyal Porcupine Seabight (northeast Atlantic): size structure, standing stock, taxonomic composition, species diversity and vertical distribution in the sediment. *Deep-Sea Research.*, 33:1345-1373.

Gooday, A.J. (1994) The Biology of Deep-Sea Foraminifera: A Review of Some Advances and Their Applications in Paleoceanography. *PALAIOS*, 9: 14-31.

Gooday, A. J., Hughes, J. A., & Levin, L. A. (2001). The foraminiferan macrofauna from three North Carolina (USA) slope sites with contrasting carbon flux: a comparison with the metazoan macrofauna. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 48(7), 1709–1739.

Gooday, A.J. (2003). Benthic Foraminifera (protista) as tools in deep-water palaeoceanography: Environmental influences on faunal characteristics. *Advances in Marine Biology.*, 46, 1-90.

Grasshoff, K. (1976). Methods of sea water Analysis. Verlag Chemie, Weinheim, New York. Griffiths, R.C. 1968. Physical, chemical, and biological oceanography of the entrance to the Gulf of California, spring of 1960. US Department of the Interior, Bureau of Commercial Fisheries, 573: 47.

Griffiths, R.C. 1968. Physical, chemical, and biological oceanography of the entrance to the Gulf of California, spring of 1960. US Department of the Interior, Bureau of Commercial Fisheries, 573: 47.

Hammer Ø & Harper DAT. (2006). *Paleontological Data analysis*. Oxford: Blackwell Publishing Ltd.

Harman, R. A. (1964). Distribution of foraminifera in the Santa Barbara Basin, California. *Micropaleontology*, 10(1), 81-96.

Helly, J. J., & Levin, L. A. (2004). Global distribution of naturally occurring marine hypoxia on continental margins. *Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 51(9), 1159–1168.

Hirama, M.V.; Toledo, F.A.L.; Camillo Jr., E.; Costa, K.B. & Quadros, J.P. (2010). Q-Mode and R-Mode factor analysis in quantitative studies of microfossils of the late Quaternary in sediments from the Brazilian continental margin. *Terrae*, 7:41-49.

INEGI. (2015). Encuesta Intercensal 2015. Estado de México. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Disponible en línea: <http://cuentame.inegi.org.mx>.

Ingle, J. C., Jr. (1985). Paleobathymetric, paleoceanographic, and biostratigraphic studies. In: Final report. The geochemical and paleoenvironmental history of the Monterey Formation: sediments and hydrocarbons. Volume 1. Data synthesis and text volume. Global Geochemistry Corp., Canoga Park, California: 88-161.

JUMAPAM. (2013). Saneamiento de Aguas Residuales. 2013, de JUMAPAM Sitio web: <http://jumapam.gob.mx/articulos-de-interes/planta-tratadora-de-aguasnegras>.

Kaminski, M. A., Boersma, A., Tyszka, J., & Holbourn, A. E. L. (1995). Response of deep-water agglutinated foraminifera to dysoxic conditions in the California Borderland basins. *Proceedings 4th International Workshop on Agglutinated Foraminifera, Krakow, 1993*, (3), 131–140.

Kennett, J. P., & Srinivasan, M. S., 1982. Neogene planktonic foraminifera: A phylogenetic atlas. Stroudsburg, Pennsylvania: Hutchinson Ross Publishing Co., 265 pp.

Kim, J.O. (1978). Factor analysis, In: Nile, N. and others (Eds.). *Statistical Package for the Social Sciences*. McGraw-Hill, New York. 468-514.

Lavín, M., F. E., Baier y A. Badan. (1997). Estructura hidrográfica y circulación del Golfo de California: Escala estacional e interanual. En Lavín M.F. (Edit.). *Contribuciones a la oceanografía física en México, Monografía No.3 Unión Geofísica Mexicana*.141-171.

Lavín, M. F., & Marinone, S. G. (2003). An Overview of the Physical Oceanography of the Gulf of California. *Nonlinear Processes in Geophysical Fluid Dynamics*, 173–204.

Loring D.H & Rantala R.T.T (1992) Manual for the geochemical analyses of marine sediments and suspended particulate matter. *Earth Sci Rev* 32(4):235–283.

Machain-Castillo, M. L., Ruiz-Fernández, A. C., Gracia, A., Sánchez-Cabeza, J. A., Rodríguez-Ramírez, A., Alexander-Valdés, H. M., Pérez- Bernal, L.H., Nava-Hernández, X.A., Gómez-Lizárraga, L.E., Almaraz-Ruiz, L., Schwing, P.T., Hollander, D. J. (2019). Natural and anthropogenic oil impacts on benthic foraminifera in the southern Gulf of Mexico. *Marine Environmental Research*, 149, 111–125.

Machain-Castillo, M. L., Ruiz-Fernández, A. C., Alonso-Rodríguez, R., Sánchez-Cabeza, J. A., Gío-Argáez, F. R., Rodríguez-Ramírez, A., Villegas-Hernandez R., Mora-García A.I., Fuentes-Sánchez A.P., Cardoso-Mohedano J.G., Hernández-Becerril D.U., Esqueda-Larah K., Santiago-Pérez S., Gómez-Ponce M.A, Pérez-Bernal, L. H. (2020). Anthropogenic and natural impacts in the marine area of influence of the Grijalva – Usumacinta River (Southern Gulf of Mexico) during the last 45 years. *Marine Pollution Bulletin*, 156, 111245.

Magurran, A. (1988). *Ecological diversity and its measurement*. Princeton University Press. New Jersey. 179.

Magurran, A. (2004). Measuring Biological Diversity - Chapter 2. *Measuring Biological Diversity*, 18–215.

Mallon, J., N. Glock, & J. Schönfeld. (2012). The response of benthic foraminifera to low-oxygen conditions of the Peruvian oxygen minimum zone, in *Anoxia: Evidence for Eukaryote Survival and Paleontological Strategies: Cellular Origin, Life in Extreme Habitats, and Astrobiology 21*, edited by A. V. Altenbach, J. M. Bernhard, and J. Seckbach. 305–321, Springer, Dordrecht.

Margalef, R. (1972). Homage to E. Hutchinson, or why is there an upper limit to diversity. *Transactions of the Connecticut Academy of Arts and Sciences* 44: 21-235.

Medina, A.N. (2010). Diferencia entre faunas glaciares y recientes de foraminíferos bentónicos y su relación con Zonas de Oxígeno Mínimo en el Golfo de Tehuantepec, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias UNAM 93 pp.

Miesch, A. T. (1976). Q-mode factor analysis of compositional data. *Computers & Geosciences*, 1(3), 147–159.

Murray, J.W. (2006). *Ecology and Applications of Benthic Foraminifera*. Cambridge University Press, New York.

Ochoa-Ramos L. A. (2020). CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS EN NÚCLEOS SEDIMENTARIOS DE LA ZONA COSTERA DE MAZATLAN, MÉXICO. (Tesis de Licenciatura). Universidad Politécnica de Sinaloa. Mazatlán, Sinaloa.

Ontiveros-Cuadras, J. F., Ruiz-Fernández, A. C., Pérez-Bernal, L. H., Serrato de la Peña, J. L., & Sánchez-Cabeza, J. A. (2019). Recent trace metal enrichment and sediment quality assessment in an anthropized coastal lagoon (SE Gulf of California) from 210Pb-dated sediment cores. *Marine Pollution Bulletin*, 149, 110653.

Ontiveros-Cuadras, J.F., Thunell, R., Ruiz-Fernández, A.C., Benitez-Nelson, C., Machain-Castillo, M.L., Tappa, E., & Sánchez-Cabeza, J. A. (2019). Centennial OMZ

changes in the NW Mexican Margin from geochemical and foraminiferal sedimentary records. *Continental Shelf Research*, 176, 64-75.

Osterman, L. E. (2003). Benthic foraminifers from the continental shelf and slope of the Gulf of Mexico: an indicator of shelf hypoxia. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 58(1), 17–35.

Páez-Osuna, F., & Mandelli, E. F. (1985). ²¹⁰Pb in a tropical coastal lagoon sediment core. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 20(3), 367–374.

Páez-Osuna, F., Osuna-López, J.I., Marmolejo, R.C., Ortega, R.P. (1989). Metales pesados disueltos y particulados en el puerto de Mazatlán. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología-UNAM*. 16(2), 307-320.

Páez-Osuna, f., Montaña-Ley, Y., & Bojorquez-Leyva, H. (1990). Intercambio de agua, fosforo y material suspendido entre el sistema lagunar del puerto de Mazatlán y las aguas costeras adyacentes. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 6(1), 19–32.

Páez, M., Zúñiga, O., Valdés, J., & Ortlieb, L. (2001). Foraminíferos bentónicos recientes en sedimentos micróxicos de la bahía Mejillones del Sur (23° S), Chile. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 36(2) ,123-133.

Pantoja, D.A, Marinone, S.G, Parés-Sierra, A. & Gómez-Valdivia, F. (2012). Modelación numérica de la hidrografía y circulación estacional y de mesoescala en el Pacífico central mexicano. *Ciencias marinas*, 38(2), 363-379.

Paulmier, A., Ruiz-Pino, D., & Garçon, V. (2008). The oxygen minimum zone (OMZ) off Chile as intense source of CO₂ and N₂O. *Continental Shelf Research*, 28(20), 2746–2756.

Paulmier, A., & Ruiz-Pino, D. (2009). Oxygen minimum zones (OMZs) in the modern ocean. *Progress in Oceanography*, 80(3–4), 113–128.

Paulmier, A., Ruiz-Pino, D., & Garçon, V. (2011). CO₂ maximum in the oxygen minimum zone (OMZ). *Biogeosciences*, 8(2), 239–252.

Pérez-Bernal, L. H. 1999. Concentración, distribución y fraccionamiento geoquímico del fósforo en los sedimentos de dos lagunas costeras del noroeste de México. (Tesis de Maestría). UNAM, México. 145 pp.

Pérez-Cruz, L. L., & Machain-Castillo, M. L. (1990). Benthic foraminifera of the oxygen minimum zone, continental shelf of the Gulf of Tehuantepec, Mexico. *The Journal of Foraminiferal Research*, 20(4), 312–325.

Phleger, F. B., & Soutar, A. (1973). Production of Benthic Foraminifera in Three East Pacific Oxygen Minima. *Micropaleontology*, 19(1), 110.

Pla, L. (2006). Biodiversidad: Inferencia basada en el índice de Shannon y la Riqueza. INCI. 31 (8), 583-590.

PRIMER-e, (2016). PRIMER (versión 7.0.12). www.primer-e.com

Rabalais, N.N., Turner, R.E. & Scavia, D. (2002). Beyond Science into Policy: Gulf of Mexico Hypoxia and the Mississippi River. *BioScience*, 52(2), 129–142.

Rabalais, N. N., & Turner, R.E (2006). Oxygen depletion in the Gulf of Mexico adjacent to the Mississippi river. *Gayana (Concepción)*, 70(Supl. 1), 73-78.

Rabalais, N.N., W.-J. Cai, J. Carstensen, D.J. Conley, B. Fry, X. Hu, Z. Quiñones-Rivera, R. Rosenberg, C.P. Slomp, R.E. Turner, M. Voss, B. Wissel, and J. Zhang. (2014). Eutrophication-driven deoxygenation in the coastal ocean. *Oceanography* 27(1),172–183.

Rangel-Balmaceda, R. (2004). Ecología de los foraminíferos bentónicos recientes de la Plataforma y Talud Continental del Sur del Estado de Sinaloa (entre los paralelos 22° 30' y 24° latitud Norte) (Tesis de Licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México

Reguero, M., & García-Cubas, A. (1989). Moluscos de la plataforma continental de Nayarit: sistemática y ecología. *An.Inst.Cienc. del Mar y Limnol.* Univ. Nal. Auton. Mexico, 16(1): 33-58.

Robbins J. A. (1978) Geochemical and geophysical applications of radioactive lead isotopes. In *Biochemistry of Lead* (ed. J. O. Nriagu). Elsevier, Amsterdam. 85–393.

Roden, G. (1964). Oceanographic Aspects of the Gulf of Calif. In: Van Andel, Tj. Y Shor,G.(eds).Marine Geology of the Gulf of Calif., a Symposium Am. Assoc.Petrol.Geol.Mem. 3: 30-58.

Rodríguez-Ortiz, J.C, Alcalá- Jáuregui, J.A., Hernández -Montoya, A., Rodríguez - Fuentes, H., Ruiz-Espinoza, F.H., García- Hernández, J. L., y Díaz-Flores, P. E. (2014). Elementos traza en fertilizantes y abonos utilizados en agricultura orgánica y convencional. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 5(4), 695-701.

Ruiz-Fernández, A. C., Frignani, M., Hillaire-Marcel, C., Ghaleb, B., Arvizu, M. D., Raygoza-Viera, J. R., & Páez-Osuna, F. (2009). Trace Metals (Cd, Cu, Hg, and Pb) Accumulation Recorded in the Intertidal Mudflat Sediments of Three Coastal Lagoons in the Gulf of California, Mexico. *Estuaries and Coasts*, 32(3), 551–564.

Ruiz-Fernández, A. C., Sanchez-Cabeza, J.-A., Alonso-Hernández, C., Martínez-Herrera, V., Pérez-Bernal, L. H., Preda, M., Hillaire-Marcel, Gastaud J., Quejido-Cabezas, A. J. (2012). Effects of land use change and sediment mobilization on coastal contamination (Coatzacoalcos River, Mexico). *Continental Shelf Research*, 37, 57–65.

Ruiz-Fernández, A. C., Maanan, M., Sanchez-Cabeza, J. A., Pérez-Bernal, L. H., López-Mendoza, P., & Limoges, A. (2014). Chronology of recent sedimentation and geochemical characteristics of sediments in Alvarado Lagoon, Veracruz (southwestern Gulf of México). *Ciencias Marinas*, 40(4): 291-303.

Ruiz-Fernández, A. C., Sanchez-Cabeza, J. A., Serrato de la Peña, J. L., Pérez-Bernal, L. H., Cearreta, A., Flores-Verdugo, F., Machain-Castillo M., Chamizo E.,

García-Tenorio R., Queralt I., Dunbar R., Mucciarone D. Díaz-Asencio, M. (2016). Accretion rates in coastal wetlands of the southeastern Gulf of California and their relationship with sea-level rise. *Holocene*, 26(7), 1126–1137.

Sabine, C. L., Feely, R. A., Gruber, N., Key, R. M., Lee, K., Bullister, J. L., Wanninkhof, R., Wong, C. S., Wallace, D. W. R., Tilbrook, B., Millero, F. J., Peng, T. H., Kozyr, A., Ono, T., & Rios, A. F. (2004). The Oceanic Sink for Anthropogenic CO₂. *Science*, 305: 367–371.

Sanchez-Cabeza, J. A., Wee, L. L., & Betti, M. (2010). Method to determine ²²⁶Ra in small sediment samples by Ultralow background liquid scintillation. *Analytical Chemistry*, 82: 6847-6853.

Sanchez-Cabeza, J. A., & Ruiz-Fernández, A. C. (2012). ²¹⁰Pb sediment radiochronology: An integrated formulation and classification of dating models. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 82, 183–200.

Sanchez-Cabeza, J.A., Díaz-Asencio, M., & Ruiz-Fernández, A.C (2012). Radiocronología de sedimentos costeros utilizando ²¹⁰Pb: modelos, validación y aplicaciones. Vienna: IAEA, 2012.

Schönfeld, J., Alve, E., Geslin, E., Jorissen, F., Korsun, S., & Spezzaferri, S. (2012). The FOBIMO (FORaminiferal Blo-MONitoring) initiative—Towards a standardised protocol for soft-bottom benthic foraminiferal monitoring studies. *Marine Micropaleontology*, 94-95, 1–13.

Sen Gupta, B.K., & Machain-Castillo, M. L. (1993). Benthic foraminifera in oxygen-poor habitats. *Marine Micropaleontology*, 20: 183-201.

Sen Gupta, B.K., Turner, R.E., Rabalais, N.N. (1996). Seasonal oxygen depletion in continental shelf waters of Louisiana: Historical record of benthic foraminifers. *Geology*, 24(3), 227-230.

Sen Gupta B.K., Lobegeier, M. K., & Smith, L. E., (2009). Foraminiferal communities of bathyal hydrocarbon seeps, northern Gulf of Mexico: a taxonomic, ecologic, and geologic study: United States Department of the Interior, Minerals Management Service, Gulf of Mexico OCS Region, New Orleans, Louisiana, OCS Study MMS 2009-013, 385

Simpson, E. H. (1949). Measurement of Diversity. *Nature*. 163: 688-688. Stat Soft, Inc, 2011. STATISTICA (Data Analysis Software System, version 10). .

Stramma, L., Johnson, G. C., Sprintall, J., & Mohrholz, V. (2008). Expanding oxygen-minimum zones in the tropical oceans. *Science*, 320(5876), 655–658

Tetard, M., Licari, L., & Beaufort, L. (2017). Oxygen history off Baja California over the last 80 kyr: A new foraminiferal-based record. *Paleoceanography*, 32(3), 246–264.

Torres Orozco, E. Análisis Volumétrico de las masas de agua del Golfo de California. (1993). M. Sc. Thesis. CICESE, Ensenada, B.C, México, 80 pp.

Vásquez-Bedoya, L. F., Radi, T., Ruiz-Fernández, A. C., de Vernal, A., Machain-Castillo, M. L., Kieft, J. F., & Hillaire-Marcel, C. (2008). Organic-walled dinoflagellate cysts and benthic foraminifera in coastal sediments of the last century from the Gulf of Tehuantepec, South Pacific Coast of Mexico. *Marine Micropaleontology*, 68(1-2), 49–65.

Walling D.E. & He Q. (1992). Interpretation of caesium-137 profiles in lacustrine and other sediments: the role of catchment-derived inputs. *Hydrobiologia*. 235/236.219-230.

Walton, W.R., 1952. Techniques for recognition of living foraminifera. *Contributions of the Cushman Foundation for Foraminiferal Research*. 3, 56–60.

Whicker J.J., Ward F., Jacobi S. (1994). ¹³⁷Cs in sediments of Utah and reservoirs: effects of elevation, sedimentation rate and fallout history. *Journal of Environmental Radioactivity*. Vol.23, 265-283 p.

Winkler, L.W. (1888). Die Bestimmung des in Wasser gelösten Sauerstoffes. *Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft*, 21, 2843–2855.

Wishner, K. F., Ashjian, C. J., Gelfman, C., Gowing, M. M., Kann, L., Levin, L. A., Saltzman, J. (1995). Pelagic and benthic ecology of the lower interface of the Eastern Tropical Pacific oxygen minimum zone. *Deep-Sea Research Part I*, 42(1), 93–115.

Young, C. M. E., Schwing, P. T., & Cotton, L. J. (2021). Benthic foraminiferal morphological response to the 2010 Deepwater Horizon oil spill. *Marine Micropaleontology*, 164, 101971.

ANEXOS

Anexo I. Distribución de abundancias absolutas de Foraminíferos Bentónicos en las muestras estudiadas del núcleo MAZ V E08.

Especies /Profundidad	0.0-0.5	0.5-1.0	1.0-1.5	1.5-2.0	2.0-2.5	2.5-3.0	3.0-3.5	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
<i>Ammobaculites</i> sp.	4				1													
<i>Ammonia parkinsoniana</i>								1			1	2	2				1	1
<i>Ammonia</i> sp.		1	1	1	1													
<i>Ammonia tepida</i>	2	7	14	6	10	7	7	12	15	10	10	12	9	6	7	11	12	16
<i>Amphicoryna</i> sp.				1														
<i>Bolivina minima</i>	3										1	1						
<i>Bolivina striatula</i>	1		2	2		2	2			3	2	3	1		1	2	2	2
<i>Bolivina lowmani</i>	5	7	13	13	6	11	2	12	2	4	8	1	4	3	3	2	5	6
<i>Bolivina</i> sp.												1						
<i>Bolivina</i> sp. a																		1
<i>Bolivina</i> sp. b																		
<i>Bulimina marginata</i>	45	29	20	33	16	26	21	28	32	26	23	18	29	33	23	24	24	33
<i>Bulimina</i> sp.						1					1							
<i>Buliminella elegantissima</i>	17	38	34	38	26	26	34	37	32	29	21	25	16	23	22	24	37	35
<i>Cancris auriculus</i>	2	3	2				2	1		1					1	1		
<i>Cancris</i> sp.		1				1		1										
<i>Cancris</i> sp.1															1			
<i>Cancris</i> sp. Juv	2			2													1	
<i>Cassidulina crassa</i>	9	13	17	9	27	10	7	17	7	10	11	11	10	10	18	17	16	12
<i>Cassidulina teretis</i>	14	3	19	10	12	12	7	15	13	14	5	10	12	11	14	18	6	17
<i>Eggerella</i> sp.	3	4	2	1	10	5	8	1	5	2		6		2	1	1	2	2
<i>Elphidium discoidale</i>	8	6	9	14	9	13	13	11	15	16	4	16	8	12	13	7	9	10
<i>Elphidium</i> sp.2			6					3		5	7					2		1
<i>Elphidium poeyanum</i>																		
<i>Eouvigerina</i> sp.		1	1	1				1	1						1			1
<i>Epistominella sandiegoensis</i>									1									
<i>Epistominella</i> sp.								1				1		1		1		
<i>Fissurina</i> sp.1			1	2			1	1	1				1		1	2	1	
<i>Fissurina</i> sp.2							1			1								
<i>Fursenkoina compressa</i>	17	12	17	8	1	6	6	7	12	7	10	9	5	8	7	2	3	2
<i>Fursenkoina</i> sp.						1		1										
<i>Hanzawaia concentrica</i>	11	12	10	10	19	12	7	7	21	12	11	19	6	10	12	6	8	10
<i>Haplophragmoides advena</i>	3		3	4	5	5	4	4	3	6	5		4	4	6	1	1	2
<i>Kleinpellia californiensis</i>	9	16	16	11	17	26	9	13	12	15	14	20	15	21	11	8	22	15
<i>Lagena</i> sp.1											1							
<i>Lagena</i> sp.2				2					1		1							
<i>Lagena</i> sp.3						1										1		
<i>Lagenammia atlantica</i>	6	1		1		2	1	1	5	1		5	4	1		1	1	3
<i>Lenticulina</i> sp.							1		1									
<i>Neoeponides</i> sp.	11	1	2	2	4		4	2	4	6	1	3	3	3	2	3	3	7
<i>Nonionella stella</i>	68	78	73	82	93	69	78	78	73	95	79	100	93	108	86	90	66	79
<i>Nonionella atlantica</i>	40	23	30	21	31	17	12	22	21	17	14	15	11	19	13	9	12	6
<i>Nonionella basiloba</i>			1	1		2					1					1		

Anexo I. Continuación

<i>Quinqueloculina bicarinata</i>									1			3							1
<i>Quinqueloculina boschiana</i>							1				1		2						
<i>Quinqueloculina compta</i>		1		2				1	1				1		1	1			1
<i>Quinqueloculina lamarciana</i>	7	2								1			2						
<i>Quinqueloculina sp.</i>			2	1		2	1	3		2	3	1		2	2	2	2		1
<i>Reophax sp.</i>	10				8	21	36	46	19	32	35	48	37	37	35	26	27		29
<i>Rosalina sp.</i>	1			2	1	2		1					1	3	2	1		1	1
<i>Spiroloculina soldanii</i>																			
<i>Textularia juv.</i>	3	1		1	7			2					5						3
<i>Textularia mayori</i>	1					1					1	1							
<i>Textularia earlandi</i>	2	1		1		4	1				1		1			1		2	
<i>Textularia sp.1</i>		1				2	1				2	1		3				2	1
<i>Textularia sp.2</i>		1									1								1
<i>Textularia sp.3</i>				1			2		2	1		1	1	1					
<i>Textularia sp.4</i>							1												
<i>Textularia sp.5</i>										2									
<i>Textularia sp.6</i>																	1		
<i>Triloculina sp.</i>					1														1
<i>Trochamina pacifica</i>	7	3			3							1							
<i>Trochamina sp.</i>				1		2	4					1	1					1	
<i>Uvigerina sp.1</i>					1								1			1			
<i>Uvigerina sp.2</i>					1			1											
Total	311	266	295	284	310	289	275	330	301	318	274	335	286	323	283	265	266	299	

9.0-9.5	9.5-10.0	10.0-10.5	10.5-11.0	11.0-11.5	11.5-12.0	12.0-12.5	12.5-13.0	13.0-13.5	13.5-14.0	14.0-14.5	14.5-15.0	15.0-15.5	15.5-16.0	16.0-16.5	16.5-17.0	Total
	1	1													1	8
2	4															14
																4
12	8	12	10	6	8	12	11	15	15	10	5	9	4	8	8	326
																1
1									1							7
		1	1	1	2	1	3	1		2		1	2	3		43
9	4	8	6	13	1	14	14	12	10	6	11	9	6	4	7	241
																1
												2	1			4
								2								2
26	18	23	25	24	24	17	22	23	27	25	27	27	29	22	30	872
		1					1							1		5
34	33	35	45	23	36	23	20	40	37	22	36	50	33	34	53	1068
		2		1	1	1	1	1								20
																3
																1
	2				1	1				1	2	1				13
18	15	21	18	14	23	17	18	15	23	22	11	6	16	4	12	484
20	17	17	26	24	16	20	14	39	26	24	31	32	14	31	20	583
																1
3	3	1		1					1							64
9	5	9	14	9	12	10	13	9	23	13	14	19	10	8	10	380
			1			3						5	4	3	3	43
								2								2
3	1		2		2		1		3	1			1	1	3	25

Anexo I. Continuación

9.0-9.5	9.5-10.0	10.0-10.5	10.5-11.0	11.0-11.5	11.5-12.0	12.0-12.5	12.5-13.0	13.0-13.5	13.5-14.0	14.0-14.5	14.5-15.0	15.0-15.5	15.5-16.0	16.0-16.5	16.5-17.0	Total
3	1		2		2		1		3	1			1	1	3	25
		1												1		3
						1			1		1					7
2	1	2			1	1				1	2	1				22
				1								1		1		5
3	4	6	3	1	3	5	5	6	5	3	2	9	4	8	6	212
																2
9	12	10	12	17	9	7	17	12	9	16	6	7	14	13	13	386
1	3	1		2	3	2	1		3	3	5	3	1	1	2	91
21	17	23	22	16	13	17	14	21	17	13	15	15	21	22	17	554
											1			1		3
		1	1					1		1	1	1				10
				1								2	1		1	7
2	2	1	3	3				3	3		3	7	3	1	6	70
																2
10	3	1	5	5	4	6	4	3	10	1	3	11	7	2	6	142
92	73	97	96	71	71	96	90	129	111	93	80	83	109	92	90	2961
13	13	12	15	13	13	5	10	16	18	9	6	8	18	13	16	531
																6
				1												6

9.0-9.5	9.5-10.0	10.0-10.5	10.5-11.0	11.0-11.5	11.5-12.0	12.0-12.5	12.5-13.0	13.0-13.5	13.5-14.0	14.0-14.5	14.5-15.0	15.0-15.5	15.5-16.0	16.0-16.5	16.5-17.0	Total
											1				3	8
	2				1	1					2	2				17
																12
	2	3	2	1	3	4	3	5		8	2	1	2	5	3	66
37	39	41	31	31	23	33	39	21	26	20	19	37	38	17	29	927
		1		1				1								19
											1					1
					1	5	3	2				3		1		37
																4
3			1			1	1	1								21
4	1			1				1		1	1	1				23
			1							1					2	7
				1		2	1	1								14
							1	1							1	4
		1			4									2		9
																1
																2
				2												16
3	1								2							16
							1	1			1					6
																2
337	284	331	341	284	275	305	308	384	369	298	289	353	338	299	342	10447

Anexo II. Total de organismos estudiados por muestra, peso seco del sedimento (PSS (g)), fracción revisada, número total de organismos en la muestra y abundancia absoluta de Foraminíferos Bentónicos (Ind g⁻¹) por muestra para el núcleo MAZ V E08.

Profundidad	Total organismos	PSS (g)	Fracción revisada	Número total en la muestra	Abundancia (Ind g ⁻¹)
0.0-0.5	311	10.0	5/128	7962	794
0.5-1.0	266	11.7	3/128	11349	971
1.0-1.5	295	8.5	3/64	6293	738
1.5-2.0	284	12.3	5/128	7270	592
2.0-2.5	310	9.0	1/16	4960	549
2.5-3.0	289	8.9	1/32	9248	1039
3.0-3.5	275	7.8	3/64	5867	752
3.5-4.0	330	10.3	1/32	10560	1024
4.0-4.5	301	8.7	3/64	6421	736
4.5-5.0	318	12.8	1/32	10176	793
5.0-5.5	274	7.2	3/64	5845	808
5.5-6.0	335	8.1	3/64	7147	885
6.0-6.5	286	10.2	3/64	6101	600
6.5-7.0	323	8.7	1/16	5168	593
7.0-7.5	283	8.4	3/64	6037	722
7.5-8.0	265	9.3	5/128	6784	728
8.0-8.5	267	8.1	3/64	5696	707
8.5-9.0	299	11.6	5/128	7654	660
9.0-9.5	337	10.4	1/32	10784	1034
9.5-10.0	284	11.3	3/128	12117	1076
10.0-10.5	331	12.2	1/32	10592	865
10.5-11.0	341	7.5	3/64	7275	971
11.0-11.5	284	8.8	5/128	7270	823
11.5-12.0	275	9.0	5/128	7040	779
12.0-12.5	305	9.3	5/128	7808	838
12.5-13.0	308	10.3	1/32	9856	960
13.0-13.5	384	11.5	5/128	9830	851
13.5-14.0	369	11.2	3/64	7872	702
14.0-14.5	298	9.8	7/128	5449	557
14.5-15.0	289	9.5	3/64	6165	652
15.0-15.5	353	10.5	3/64	7531	719
15.5-16.0	338	11.1	3/64	7211	650
16.0-16.5	299	15.2	1/32	9568	629
16.5-17.0	342	16.3	3/64	7296	448

Anexo III. Índices de diversidad de Foraminíferos Bentónicos.

Profundidad	Riqueza (S)	Equidad (J')	Diversidad (H')	Dominancia (λ')
0.0-0.5	28	0.81	2.71	0.10
0.5-1.0	26	0.74	2.43	0.14
1.0-1.5	23	0.81	2.55	0.11
1.5-2.0	31	0.74	2.54	0.13
2.0-2.5	24	0.79	2.50	0.13
2.5-3.0	28	0.81	2.70	0.10
3.0-3.5	30	0.75	2.56	0.13
3.5-4.0	29	0.77	2.58	0.11
4.0-4.5	26	0.80	2.60	0.11
4.5-5.0	25	0.79	2.53	0.13
5.0-5.5	28	0.77	2.56	0.13
5.5-6.0	29	0.74	2.51	0.13
6.0-6.5	27	0.75	2.48	0.15
6.5-7.0	24	0.75	2.38	0.15
7.0-7.5	25	0.76	2.45	0.14
7.5-8.0	28	0.72	2.41	0.16
8.0-8.5	27	0.77	2.54	0.12
8.5-9.0	29	0.76	2.56	0.12
9.0-9.5	24	0.80	2.55	0.12
9.5-10.0	26	0.78	2.55	0.12
10.0-10.5	26	0.75	2.44	0.13
10.5-11.0	23	0.78	2.43	0.13
11.0-11.5	27	0.78	2.57	0.11
11.5-12.0	24	0.79	2.51	0.12
12.0-12.5	26	0.77	2.51	0.14
12.5-13.0	25	0.78	2.51	0.13
13.0-13.5	28	0.73	2.43	0.15
13.5-14.0	20	0.81	2.43	0.13
14.0-14.5	24	0.77	2.46	0.14
14.5-15.0	27	0.76	2.51	0.13
15.0-15.5	28	0.78	2.60	0.11
15.5-16.0	22	0.77	2.37	0.15
16.0-16.5	26	0.75	2.45	0.14
16.5-17.0	24	0.79	2.52	0.12