

# DISTRIBUCIÓN DE FORAMINÍFEROS BENTÓNICOS EN SEDIMENTOS SUPERFICIALES FRENTE A SAN JUAN DE MARCONA (15°21'S)

## DISTRIBUTION OF BENTHIC FORAMINIFERA IN SURFACE SEDIMENTS OFF SAN JUAN DE MARCONA (15°21'S)

Dennis Romero<sup>1</sup>

### RESUMEN

ROMERO D. 2021. *Distribución de foraminíferos bentónicos en sedimentos superficiales frente a San Juan de Marcona (15°21'S)*. Inf Inst Mar Perú. 48(2): 186-194.- En febrero 2014, se estudió la comunidad de foraminíferos bentónicos vivos (teñidos con Rosa de Bengala) de San Juan de Marcona (15°21'S) en muestras de sedimento recolectadas de 21 a 124 m de profundidad. Mayor riqueza del grupo calcáreo estuvo en las estaciones someras (dentro de la bahía), los índices de diversidad fueron altos. *Bolivina costata* y *Buliminella elegantissima* fueron más abundantes. Foraminíferos de testa blanda (principalmente alógrómidos) dominaron en las estaciones de la plataforma continental (> 60 m) registrándose importante incidencia de especímenes descalcificados. La poca representatividad de los calcáreos (en la plataforma interna) sugiere condiciones desfavorables (corrosivas) que afectan la composición y densidad de la comunidad. Se amplía el conocimiento ecológico de estos foraminíferos de la zona sur del mar peruano.

**PALABRAS CLAVE:** foraminíferos bentónicos, distribución, San Juan de Marcona, Perú

### ABSTRACT

ROMERO D. 2021. *Distribution of benthic foraminifera in surface sediments off San Juan de Marcona (15°21'S)*. Inf Inst Mar Peru. 48(2): 186-194.- The community of living (stained with Rose bengal) benthic foraminifera of San Juan de Marcona were studied from surface sediments collected at water depths between 21 and 124 m in February 2014. A relatively high calcareous foraminifera richness was found in shallower stations (into the bay), where diversity indexes were higher too. *Bolivina costata* and *Buliminella elegantissima* were the most abundant calcareous species. Nevertheless, soft-shelled foraminifera (mainly allogromiids) dominated continental shelf stations (> 60 m) with an importance incidence of decalcified foraminifers. The little representativeness of calcareous taxa suggests unfavorable (corrosive) conditions which finally affect the composition and density of the community in this sedimentary environment. These observations contribute to the ecological knowledge of benthic foraminifera in the south coast of the Peruvian sea.

**KEYWORDS:** benthic foraminifera, distribution, San Juan de Marcona, Peru

## 1. INTRODUCCIÓN

Los foraminíferos bentónicos componen una importante fracción de la meiofauna protozoaria. Estos organismos unicelulares poseen extensiones blandas denominadas pseudópodos conteniendo gránulos que emergen del cuerpo celular, el cual está protegido por una testa (conchilla) que puede variar en composición y textura. A pesar de su simplicidad celular, cumplen un importante rol dentro del funcionamiento de los ecosistemas marinos profundos e intervienen en el reciclaje de elementos vitales como el carbono (GOODAY *et al.*, 1992) y el nitrógeno (GLOCK *et al.*, 2013). La preservación de sus testas en los sedimentos les confiere una ventaja adicional para los estudios (paleo) ambientales en comparación a otros grupos de la fauna bentónica.

En Perú, los estudios sobre la ecología de foraminíferos bentónicos se han consolidado en los últimos años especialmente en la costa central (LEVIN *et al.*, 2002; CARDICH *et al.*, 2012; GLOCK *et al.*, 2019), con hallazgos importantes para su aplicación en paleoceanografía (CARDICH *et al.*, 2015). Previa investigación han abordado la fauna de foraminíferos en localidades intermareales frente a la región de Lima (VERANO, 1974) y en plataforma continental y talud superior en el norte del Perú (MAYOR, 1998) con énfasis en foraminíferos de testa calcárea.

Durante la expedición Allan Hancock (CUSHMAN & McCULLOCH, 1940) se reportaron foraminíferos bentónicos recolectados de varias localidades frente a Perú (principalmente en el norte) hasta la bahía San Juan. Por encima de 15°S, existe un franja geográfica con escasa información sobre

<sup>1</sup> Área Funcional de Investigaciones en Oceanografía Biológica, Dirección General de Investigaciones en Oceanografía y Cambio Climático - Instituto del Mar del Perú. dromero@imarpe.gob.pe

este grupo que se extiende hasta frente a Arica donde se iniciaron los primeros registros por D'ORBIGNY (1839). No obstante, se han realizado estudios puntuales en zonas profundas en la Fosa Perú-Chile (BANDY & RODOLFO, 1964), con un enfoque paleoceanográfico frente a Pisco (MORALES *et al.*, 2006) y ecológico en algunas bahías de la costa central (MERMA-MORA, 2019).

Frente a Punta San Juan, se ubica uno de los principales centros de surgencias (GRACO *et al.*, 2007) y aunque la oxiclina puede llegar hasta 25 m de profundidad (MORÓN *et al.*, 2017) se ha reportado alta diversidad en comunidades bentónicas y hábitat en el lecho marino (IMARPE, 2010), por lo que el objetivo fue estudiar la composición específica y la distribución espacial

de foraminíferos bentónicos 'vivos' (teñidos con Rosa de Bengala) en los sedimentos superficiales de San Juan de Marcona.

## 2. MATERIAL Y MÉTODOS

### Área de estudio y muestreo

El área de estudio fue descrita por MORÓN *et al.* (2017) y comprende estaciones situadas en las bahías de San Nicolás y San Juan, frente a Punta San Fernando y frente a la zona de Tres Hermanas, correspondiente a la Región de Ica (Fig. 1).

En la Tabla 1, se dan detalles generales de las estaciones.

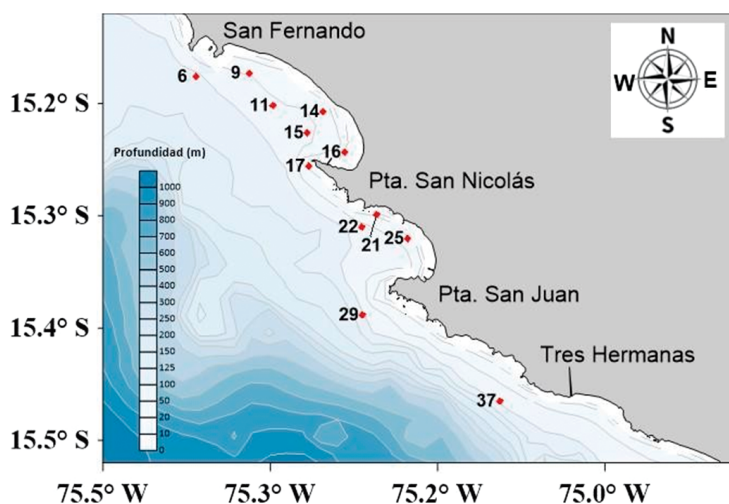


Figura 1.- Mapa de ubicación de las estaciones de muestreo de bentos, San Juan de Marcona

Tabla 1.- Detalles generales de las estaciones

Estación	Fecha	Longitud (W)	Latitud (S)	TSM (°C)	ODF* (mL/L)	Profundidad (m)	Observaciones
6	09/02/2014	75°22'00,1	15°10'34,0"	17,9	n.d.	100	
9	09/02/2014	75°19'07,6"	15°10'23,2"	17	0,71	45	presencia de bacterias filamentosas
11	10/02/2014	75°17'51,4"	15°12'07,0"	17,3	0,18	60	
14	10/02/2014	75°15'10,3"	15°12'26,6"	16,6	0,23	36	conchuelas
15	10/02/2014	76°16'01,5"	15°13'34,1"	17	0,27	64	presencia de bacterias filamentosas
16	10/02/2014	75°14'0,2"	15°14'36,7"	15	0,19	21	
17	10/02/2014	75°15'56,2"	15°15'21,6"	15,7	1,36	45	
21	07/02/2014	75°12'17,0"	15°17'56,5"	16,1	0,73	36	fondo duro con conchuelas
22	07/02/2014	75°13'4,8"	15°10'12,1"	16	n.d.	85	presencia de bacterias filamentosas
25	08/02/2014	75°10'37,2"	15°19'13,4"	15,5	0,1	35	conchuelas
29	07/02/2014	75°12'3,2"	13°23'18,0"	16,4	0,18	124	presencia de bacterias filamentosas
37	06/02/2014	75°05'39,2"	15°27'54,5"	17	0,14	84	

\*Oxígeno disuelto de fondo obtenido a partir de un perfilador CTD considerando el valor más cercano al sustrato. TSM = Temperatura Superficial del Mar

El material examinado provino de 12 muestras de sedimento marino recolectadas de 21 a 124 m con una draga tipo van Veen en febrero de 2014, durante la campaña del GEF (Fondo Mundial para el medio ambiente) Línea Base (MORÓN *et al.*, 2017). El sedimento superficial fue colocado en envases de plástico y preservado en una solución de formol al 4% neutralizado con bórax. En laboratorio, las muestras fueron sometidas a tinción con una solución de Rosa de Bengala (1 g/L) por 2 semanas antes del procesamiento, adaptando el protocolo descrito en RATHBURN & CORLISS (1994).

Las muestras fueron lavadas con agua corriente a través de tamices con aberturas de malla de 150 y 63  $\mu\text{m}$  y observadas en el microscopio estereoscópico, para visualizar foraminíferos tanto de testa dura (calcáreos, aglutinados) como blanda (tectináceos). La fácil tinción con Rosa de Bengala permite el reconocimiento de especímenes 'vivos' (durante la recolección) por lo que continúa siendo la técnica más confiable (MURRAY & BOWSER, 2000), incluso en ambientes con déficit de oxígeno (GOODAY & RATHBURN, 1999), donde como técnica no vital (BERNHARD, 1988) tiene algunas restricciones (BERNHARD, 2000). Para otorgarle consistencia al análisis, es necesario seguir el estricto criterio en el que solo los especímenes con coloración magenta homogénea en todas las cámaras (excepto la última) (TAPIA *et al.*, 2008; CARDICH *et al.*, 2012) serán considerados 'vivos', reduciendo la posibilidad de incluir falsos positivos.

### Análisis taxonómico y comunitario

Para la determinación taxonómica hasta nivel de género se siguió la clasificación de LOEBLICH & TAPPAN (1998) y SEN GUPTA (2003), para especie se siguió a CUSHMAN & McCULLOCH (1940), CARDICH *et al.* (2012). Los foraminíferos de testa blanda (algrómidos) fueron agrupados por morfotipos (CARDICH *et al.*, 2012).

La densidad fue estandarizada a individuos por  $50\text{ cm}^3$  (ind/ $50\text{ cm}^3$ ). A partir de los datos crudos, se determinó la riqueza (S; número de taxa) por estación y por grupos según la composición de la testa (calcáreos, tectináceos y aglutinados). Se calcularon los índices de diversidad de Shannon-Wiener ( $H' \log_2$ ), de

Equidad ( $J'$ ) de Pielou, de Fisher ( $\alpha$ ) y el de Dominancia de Simpson ( $1-\lambda$ ) mediante el paquete estadístico PRIMER (*Plymouth Routines in Multivariate Ecological Research*) versión 6.1.13 (CARR, 1996). Finalmente, se realizó un análisis de agrupamiento jerárquico (grupo ponderado) en base al índice de Bray-Curtis. El gráfico final, compuesto por un dendrograma y una matriz de intensidad de color, fue obtenido en función a la proporción de las especies en cada estación (modo Q). En algunas investigaciones previas (QUIPUZCOA *et al.*, 2001, 2011; MERMA-MORA, 2019) han utilizado variantes a este tipo de gráfico para visualizar dualmente las agrupaciones de acuerdo a la representatividad de las especies.

## 3. RESULTADOS

### Composición específica

El análisis del material permitió reconocer 22 taxa, de los cuales 11 fueron especies calcáreas perforadas (*Bolivina costata*, *Bolivina seminuda*, *Bolivina striatula*, *Buliminella elegantissima*, *Buliminella tenuata*, *Nonionella auris*, *Nonionella stella*, *Nonion hancocki*, *Discorbis peruvianus*, *Bucella peruviana*, *Virgulinea fragilis*), 6 fueron determinadas hasta nivel de género (*Epistominella* sp., *Cibicides* sp., *Leptohalysis* sp. y *Psammospaera fusca*) incluyendo 2 formas aglutinadas (*Bathysiphon* spp., *Trochammina* sp. 1) y una especie de sacamínido (*Psammophaga* spp.). También se encontraron 3 morfotipos de la familia Allogromiidae (algrómidos).

### Densidad y diversidad

La densidad total de foraminíferos bentónicos fluctuó de 27 a 2.512 individuos/ $50\text{ cm}^3$  ((E37 - 84 m y E22 - 85 m; respectivamente) encontrándose los valores más altos en la fracción de menor tamaño (63-150  $\mu\text{m}$ ) comparado con la fracción más grande (150-500  $\mu\text{m}$ ) (Fig. 2a, b). El grupo de tectináceos, conformado en su mayoría por algrómidos, superó en densidad a los calcáreos y aglutinados siendo ampliamente dominante en las estaciones más profundas, incluso en la fracción más grande (Fig. 2a, b). No obstante, los calcáreos registraron mayor riqueza con valores de hasta 8 taxones en la estación 9 (fracción mayor) y 9 taxones en la estación 17 (fracción menor) de similar profundidad (Fig. 2c, d).

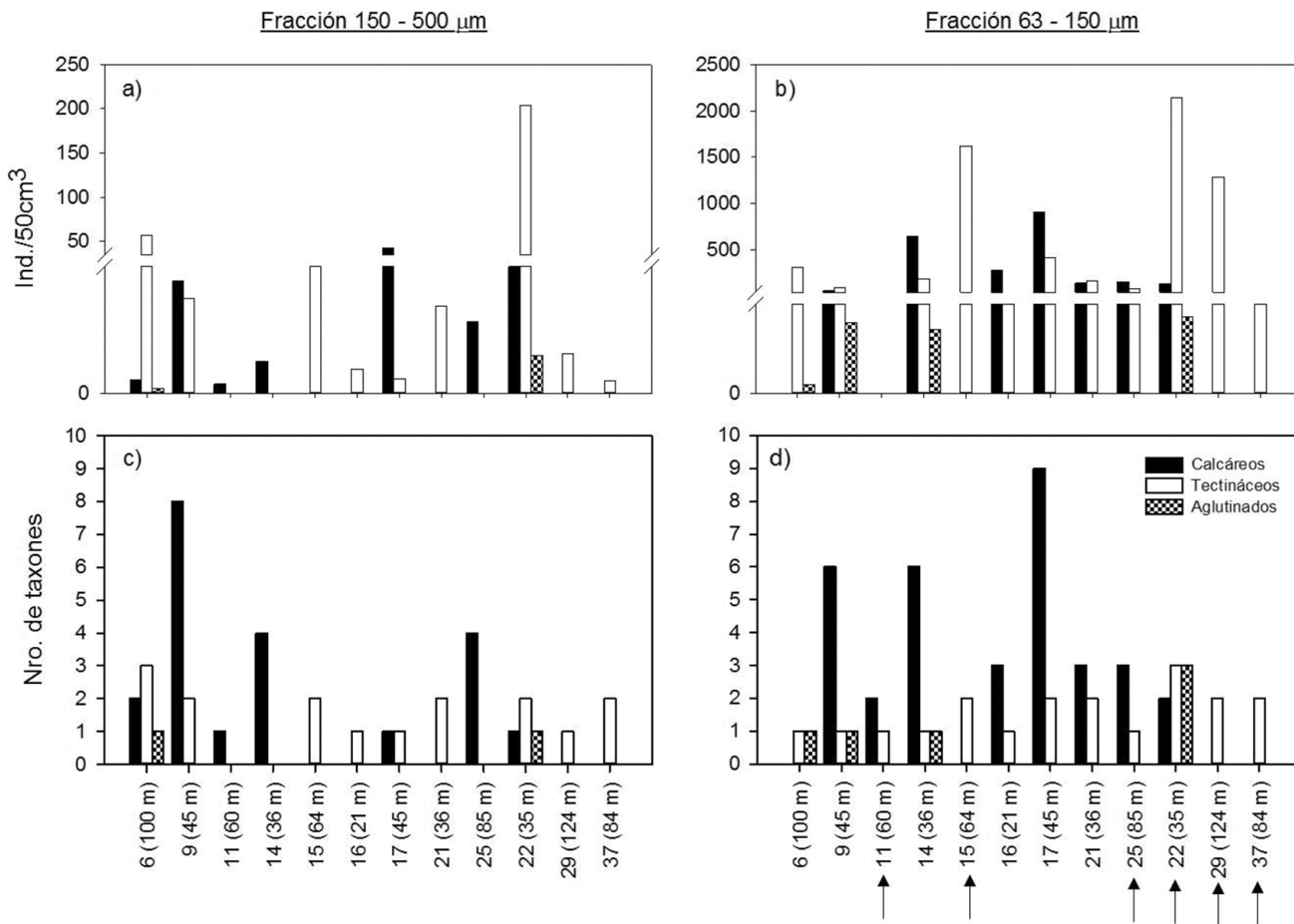


Figura 2.- a) Riqueza (número de taxa), b) densidad (ind/50 cm<sup>3</sup>) de los grupos calcáreos, tectináceos y aglutinados encontrados en cada fracción de tamaño

Los valores del índice de Shannon ( $H'$ ) en las estaciones someras fueron más altos que en las estaciones más profundas, fluctuando de 0,04 (E29 - 124 m) a 2,09 (E9 - 45 m) (Tabla 2).

En las estaciones cercanas a la costa, los índices de Equidad ( $J'$ ) de Pielou y de Fisher ( $\alpha$ ) presentaron valores más homogéneos y relativamente altos

que en las estaciones de mayor profundidad. En cuanto al de Dominancia ( $1-\lambda$ ), los valores más altos se encontraron en las estaciones menos profundas en el rango de 0,47 (E16 - 21 m) a 0,67 (E25 - 35 m). Solo en E37 se registró por encima del máximo (0,36). La estación más profunda (E29) presentó valores más bajos de diversidad (Tabla 2).

Tabla 2.- Número total de taxa (S), densidad (individuos) e índices de diversidad calculados en cada estación (500 y 63-150 µm)

Nro estación	Nro de especies	Índice de densidad (Ind. /50 cm <sup>3</sup> )	Índice de Shannon ( $H'$ )	Índice de equidad ( $J'$ )	Índice de Fisher( $\alpha$ )	Índice de Dominancia (1- $\lambda$ )
6	6	369	0,46	0,18	0,95	0,13
9	12	181	2,09	0,58	2,45	0,63
11	4	344	0,28	0,14	0,68	0,07
14	10	840	1,79	0,54	1,67	0,64
15	2	1,652	0,23	0,23	0,23	0,07
16	4	309	1,25	0,63	0,68	0,47
17	12	1,362	1,60	0,43	1,85	0,56
21	6	310	1,72	0,67	1,11	0,64
25	7	243	1,76	0,62	1,42	0,67
22	8	2,512	0,54	0,18	1,02	0,15
29	2	1,291	0,04	0,04	0,24	0,02
37	3	27	0,91	0,57	0,86	0,36

Se reconocieron 2 ambientes sedimentarios: estaciones asociadas a la bahía cuyas especies dominantes fueron *Bolivina costata* y *Buliminella elegantissima*; y de la plataforma continental cuya especie más abundante fue *Allogrommia* sp.1 (Fig. 3).

**Relación con parámetros ambientales**

No se encontró relación significativa entre la densidad total de foraminíferos bentónicos y los parámetros ambientales registrados cerca al sustrato. Sin embargo, la densidad de la taxa calcárea se correlacionó positivamente con el oxígeno disuelto de fondo (ODF), en tanto que los índices de diversidad mostraron el mismo patrón (Tabla 3). La densidad de foraminíferos aglutinados estuvo inversamente relacionada con el nitrato cerca al fondo mientras que el índice de equidad tuvo relación directa con el fosfato cerca al fondo.

**Testas descalcificadas y almacenamiento de partículas minerales en el protoplasma**

Se observaron especímenes vivos de algunas especies calcáreas con signos de descalcificación. En algunos casos, sólo se visualizaron pequeños remanentes de protoplasma lo que evidenció la disolución total. En otros casos, el contorno del protoplasma mantuvo la forma original de la testa permitiendo el reconocimiento del taxa como ocurrió para las estaciones 15, 16, 21, 22, 25 y 29 (Fig. 2). En la E11 se registraron tanto las formas protoplasmáticas como testas calcáreas vacías con moderada preservación. No se encontraron testas calcáreas vacías en la E37. La totalidad de individuos de *Psammophaga* spp. encontrados en las estaciones 22 y 37 presentaron partículas de minerales dentro del protoplasma.

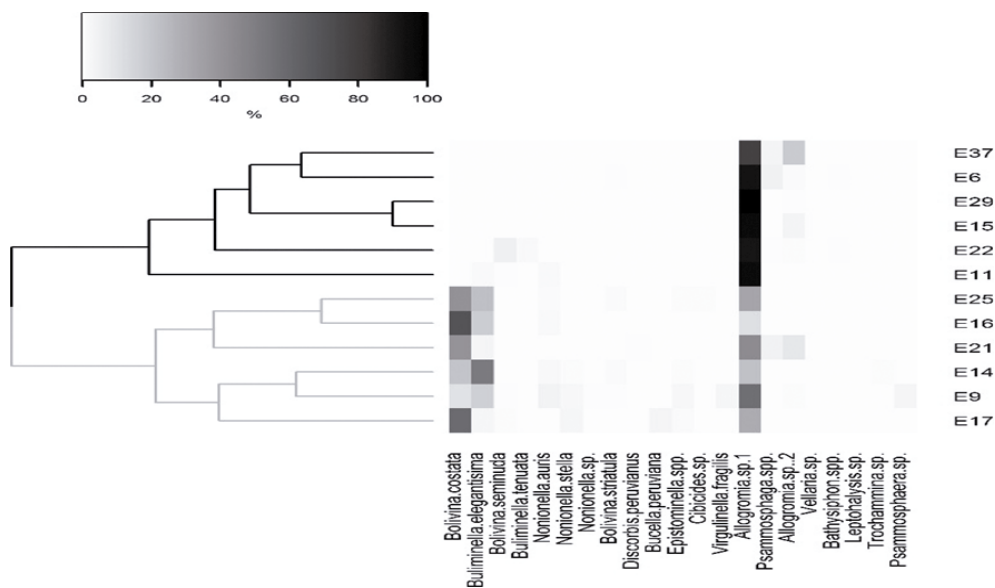


Figura 3.- Dendrograma en modo Q en base al índice de Bray-Curtis. La escala representa la abundancia relativa de cada especie

Tabla 3.- Correlación de Spearman entre los factores ambientales de fondo y los parámetros comunitarios. Todos los casos p<0,05 son resaltados en formato negrita y para p<0,01 se indica (\*)

	z	ODF	NO <sub>3</sub>	PO <sub>4</sub>
z		-0,86	0,02	-0,54
Densidad total	0,17	-0,18	-0,33	-0,28
Calcáreos	-0,82	0,70	-0,13	0,51
Tectináceos	0,40	-0,32	-0,48	-0,48
Aglutinados	0,19	-0,05	-0,70	-0,28
S	-0,46	0,66	-0,39	0,37
H'	-0,66	0,77*	-0,27	0,44
J'	-0,68	0,64	0,44	0,71
Fisher	-0,45	0,66	-0,29	0,40
1-λ	-0,44	0,50	-0,07	0,46

## 4. DISCUSIÓN

### Consideraciones en el muestreo

Esta fue una investigación exploratoria sobre la fauna de foraminíferos bentónicos, por lo que el empleo de la draga como muestreador limitó el estudio de la ecología de estos organismos en sedimentos de fondo blando (SCHÖNFELD *et al.*, 2012) dado que exhiben diferentes microhabitats en el sedimento (CORLISS, 1985; KOHO & PIÑA-OCHOA, 2012). No obstante, este dispositivo facilita el muestreo en ambientes de alta energía (e.g. sustrato de fondo duro) permitiendo evaluar algunos de sus patrones asociados (SCHÖNFELD *et al.*, 2012). En cualquier caso, es el artefacto más práctico para registrar la fauna reciente (biocenosis).

### Composición taxonómica, distribución batimétrica y latitudinal por grupos grandes y por especies

En zonas deficientes de oxígeno, la comunidad de foraminíferos bentónicos está compuesta casi íntegramente por especies calcáreas de tamaño pequeño (SEN GUPTA & MACHAIN-CASTILLO, 1993; BERNHARD & SEN GUPTA, 1999; GOODAY, 2003).

La dominancia de este taxa parece favorecerse con la disponibilidad de alimento que se origina en ecosistemas de afloramiento (BERNHARD, 1986; PHLEGER & SOUTAR, 1973). Esta representatividad ha sido previamente confirmada para sedimentos de la plataforma continental frente a Callao (CARDICH *et al.*, 2012, 2015; GRACO *et al.*, 2019).

En este estudio se reportó mayor contribución de los alorómidos en términos de densidad, los cuales fueron dominantes hasta en 7 estaciones, seguido de los calcáreos y en menor grado los aglutinados. La densidad en la fracción menor de este grupo fue mayor que en la fracción de más tamaño (Fig. 2a, b). Estos resultados son semejantes a lo encontrado por MERMA-MORA (2019) en cuanto a la contribución de los foraminíferos de testa suave en bahías someras (Paracas). Es probable que la escasa frecuencia de especies aglutinadas en la zona costera se encuentre vinculada al déficit de oxígeno en fondo, aunque geográficamente no haya proximidad a un ecosistema marino marginal en donde abundan (MURRAY, 2006).

*B. costata* y *B. elegantissima* fueron las especies calcáreas que dominaron las estaciones cercanas a la costa. Ambas especies pueden distribuirse desde el litoral (VERANO, 1974) y sublitoral (MERMA-MORA, 2019) hasta la plataforma y talud continental (KHUSID, 1974; MAYOR, 1998; CARDICH *et al.*, 2012, 2015). A diferencia de *B. costata* que está restringida latitudinalmente en la región costera del Pacífico Tropical este (desde Ecuador hasta el norte de Chile), *B. elegantissima* puede ser encontrada en otros ambientes sedimentarios como la bahía de Mejillones (PÁEZ *et al.*, 2001), en zonas expuestas a efluentes domésticos en California (BANDY *et al.*, 1964) y en la costa atlántica en Sudamérica (BURONE *et al.*, 2006, EICHLER *et al.*, 2019).

En este estudio, también se registraron otras especies calcáreas de menor frecuencia como *D. peruvianus*, *B. peruviana* de zonas muy someras también reportadas por VERANO (1974) y MERMA-MORA (2019), además de *N. hancocki*, la cual fue registrada previamente para la zona de estudio (CUSHMAN & McCULLOCH, 1940) o algunas otras que son frecuentemente reportadas en la plataforma continental interna tales como *B. striatula*, *N. auris*, *N. stella*, *V. fragilis*, así como en la plataforma externa, como *B. tenuata* y *B. seminuda* (CARDICH *et al.*, 2012, 2015). Estos últimos autores mostraron que *Allogrommia* sp.1 es un taxón bastante abundante en ambientes sedimentarios asociados con la generación de eventos sulfídicos (CARDICH *et al.*, 2012, 2015). En este trabajo, este taxón fue encontrado con predominancia importante en las estaciones más profundas.

### Distribución espacial de los parámetros comunitarios

Las densidades registradas en este estudio fueron inferiores a las de la plataforma continental frente a Callao (CARDICH *et al.*, 2012). El ordenamiento de las estaciones estuvo definido por la densidad y la riqueza específica asociados a los dos tipos de ambientes sedimentarios (bahía y plataforma) (Fig. 3). En general, las estaciones que conformaron el primer ambiente sedimentario tuvieron mayor número de taxones, ligeramente por encima de lo reportado en bahías protegidas con sedimento fangoso (MERMA-MORA, 2019). El oxígeno disuelto en el fondo puede estar ejerciendo un efecto modulador como se muestra

en su relación con la densidad de foraminíferos calcáreos y la diversidad de Shannon (Tabla 3). Un patrón similar ha sido encontrado en áreas costeras eutróficas como en la bahía de Mejillones (PÁEZ *et al.*, 2001).

El segundo ambiente sedimentario se caracterizó por mayor dominancia de algrómidos con fuerte incidencia de especímenes vivos con testas descalcificadas. Estos especímenes mostraban signos de disolución en las testas dejando el protoplasma descubierto con la forma del contorno externo de la testa.

La modificación en la densidad y en la composición específica, a consecuencia de la desaparición de algunos taxones o de especies calcáreas más susceptibles a disolverse, es congruente con los cambios que pueden darse a causa de la disminución gradual en el pH tanto en ambiente natural (PETTIT *et al.*, 2015) como experimental (DONG *et al.*, 2019), por lo que este fenómeno sugiere condiciones más corrosivas en la plataforma frente a San Juan a diferencia de lo descrito en estudios previos, en los que sólo se reportaban tales condiciones para ambientes muy someros como la bahía de Paracas (MERMA-MORA, 2016) o los ecosistemas de pastos marinos (CESBRON *et al.*, 2016) y el Mar Báltico (CHARRIEU *et al.*, 2018a).

### Incorporación de partículas de minerales

En este estudio se observaron pequeños minerales a manera de inclusiones dentro del protoplasma del sacamínido *Psammophaga* spp., no obstante, esta característica también es frecuente en foraminíferos monotálamicos (de una sola cámara) de otros ambientes sedimentarios (HABURA *et al.*, 2008, LARKIN & GOODAY, 2004) y también en foraminíferos de testa dura (SEIGLE, 1973). Se especula que la presencia de estas partículas en el protoplasma de foraminíferos de testa blanda le otorga estabilidad en ambientes de fondo blando (NYHOLM, 1957).

## 5. CONCLUSIONES

La distribución espacial de la comunidad de foraminíferos bentónicos vivos (teñidos con Rosa de Bengala) fue determinada en los sedimentos superficiales de San Juan de Marcona (15°S) en profundidades someras de 21 a 124 m durante

febrero de 2014. *Bolivina costata*, *Buliminella elegantissima* y *Allogrommia* sp.1 fueron los taxones más abundantes.

El ordenamiento de las estaciones mostró dos ambientes sedimentarios los cuales se caracterizaron por mayor riqueza del grupo calcáreo en estaciones de menor profundidad en comparación a las de plataforma continental, donde dominaron los foraminíferos de testa blanda (principalmente compuestos por algrómidos) con una importante incidencia de especímenes descalcificados.

La alteración en la estructura comunitaria original en la plataforma continental coincide con lo encontrado por estudios recientes en los que se puntualiza el efecto de la disminución del pH sobre los foraminíferos bentónicos calcáreos, lo que tiene especial significancia sobre la respuesta de estos organismos calcificantes en el contexto de acidificación oceánica en escenarios futuros.

## Agradecimientos

Este estudio fue posible gracias a la evaluación que se efectuó dentro del marco del proyecto GEF-UNDP "Hacia un manejo ecosistémico de la Corriente de Humboldt (GEMCH) – PIMS 4147". Este documento contribuye a los Proyectos: "Estudio Integrado del Afloramiento Costero frente a Perú" y "Estudio Integrado de los Procesos Químicos, Físicos y Biológicos en Ecosistemas de Borde Costero", conducidos por la Dirección de Investigaciones Oceanográficas y Cambio Climático y financiados por el IMARPE. Mi sincero agradecimiento al Ing. Octavio Morón, quien puso a disposición la información ambiental obtenida durante la prospección y a Robert Marquina del Laboratorio de Bentos Marino por la obtención de las muestras.

## 6. REFERENCIAS

- BANDY O, RODOLFO K. 1964. Distribution of foraminifera and sediments, Peru-Chile Trench area. Deep-sea Research. 11: 817 - 837.
- BANDY O, INGLE J, RESIG J. 1964. Foraminifera, Los Angeles County outfall area, California. Limnology and Oceanography. 9(1): 124-137.
- BERNHARD J M. 1986. Characteristic assemblages and morphologies of benthic foraminifera from anoxic, organic-rich deposits: Jurassic through Holocene. J. Foraminifer Res. 16(3): 207-215.

- BERNHARD J M. 1988. Postmortem vital staining in benthic foraminifera: duration and importance in population and distributional studies. *J. Foraminiferal Res.* 18: 143–146.
- BERNHARD J M. 2000. Distinguishing live from dead foraminifera: methods review and proper applications. *Micropaleontology.* 46: 38–46.
- BERNHARD J M, SEN GUPTA B K. 1999. Foraminifera of oxygen-depleted environments. In: Sen Gupta B K, ed. *Modern Foraminifera.* Great Britain: Kluwer Academic. 200–216.
- BURONE L, VENTURINI N, SPRECHMANN P, VALENTE P, MUNIZ P. 2006. Foraminiferal responses to polluted sediments in the Montevideo coastal zone, Uruguay. *Marine Pollution Bulletin.* 52: 61 – 73. doi:10.1016/j.marpolbul.2005.08.007
- CARDICH J, MORALES M, QUIPUZCOA L, SIFEDDINE A, GUTIÉRREZ D. 2012. Benthic foraminiferal communities and microhabitat selection on the continental shelf off central Peru. En: Altenbach AV, Bernhard JM, Seckbach J (eds): *Anoxia: evidence for eukaryote survival and paleontological strategies.* Springer, Dordrecht. Vol 21: 323–340.
- CARDICH J, GUTIÉRREZ D, ROMERO D, PÉREZ A, QUIPUZCOA L, MARQUINA R, RATHBURN A. 2015. Calcareous benthic foraminifera from the upper central Peruvian margin: Control of the assemblage by pore water redox and sedimentary organic matter. *Marine Ecology Progress Series.* 535: 63–87.
- CARR M R. 1996. *Primer User Manual.* (Plymouth Routines in multivariate ecological research). *Plym. Mar. Lab.* 41 p.
- CESBRON F, GESLIN E, JORISSEN F J, DELGARD M L, CHARRIEAU L, DEFLANDE B, JÉZÉQUEL D, ANSCHUTZ P, METZGER E. 2016. Vertical distribution and respiration rates of benthic foraminifera: contribution to aerobic remineralization in intertidal mudflats covered by *Zostera noltei* meadows. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 179: 23–38.
- CHARRIEAU L M, FILIPSSON H L, LJUNG K, CHIERICHI M, KNUDSEN K L, KRITZBERG E. 2018. The effects of multiple stressors on the distribution of coastal benthic foraminifera: A case study from the Skagerrak-Baltic Sea region. *Marine Micropaleontology.* 139: 42–56.
- CORLISS B H. 1985. Microhabitats of benthic foraminifera within deep-sea sediments. *Nature.* 314: 435–438.
- CUSHMAN J, McCULLOCH I. 1940. Some Nonionidae in the Collections of the Allan Hancock Foundation. *Allan Hancock Pac. Exped.* 6: 145–178.
- D'ORBIGNY A. 1839. *Voyage dans l'Amérique Méridionale.* Foraminifères. (Atlas, 9, 1847), Paris. 5(5): 1–86.
- DONG S, LEI Y, LI T, JIAN Z. 2019. Changing structure of benthic foraminiferal communities due to declining pH: Results from laboratory culture experiments. *Science China Earth Sciences.* 62. <https://doi.org/10.1007/s11430-018-9321-6>
- EICHLER P, ROSCH A, PRAXEDE M, VITAL H. 2019. Benthic foraminifera as indicators of river discharge in the Western South Atlantic continental shelf. *Marine Geology.* 415: 105973. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2019.105973>
- GLOCK N, SCHÖNFELD J, EISENHAEUER A, HENSEN C, MALLON J, SOMMER S. 2013. The role of benthic foraminifera in the benthic nitrogen cycle of the Peruvian oxygen minimum zone. *Biogeosciences.* 10: 4767–4783.
- GLOCK N, ROY A S, ROMERO D, WEIN T, WEISSENBACH J, REVSBECH N P, Högslund S, CLEMENS D, SOMMER S, DAGAN T. 2019. Metabolic preference of nitrate over oxygen as an electron acceptor in foraminifera from the Peruvian oxygen minimum zone, P. *Natl. Acad. Sci. USA.* 116: 2860–2865. <https://doi.org/10.1073/pnas.1813887116>, 2019.
- GOODAY A J. 2003. Benthic foraminifera (Protista) as tools in deep water palaeoceanography: Environmental influences on faunal characteristics. *Advances in marine biology.* 46: 3–90.
- GOODAY A J, LEVIN L, LINKE P, HEEGER T. 1992. The role of benthic foraminifera in deep-sea food webs and carbon cycles. En: Rowe GT, Pariente V (eds). *Deep-sea food chains and the global cycle.* Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. 63–91.
- GOODAY A J, RATHBURN A E. 1999. Temporal variability in living deep-sea benthic foraminifera: a review. *Earth Sci. Rev.* 46: 187 - 212. doi: 10.1016/S0012-8252(99)00010-0
- GRACO M, LEDESMA J, FLORES G, GIRÓN M. 2007. Nutrientes, Oxígeno y Procesos Biogeoquímicos en el Sistema de Surgencias frente a Perú. *Rev. peruana Biol.* 14(1): xx yy.
- GRACO M, ANCULLE T, CARHUAPOMA W, FERNÁNDEZ E, LEDESMA J C, SARMIENTO J, SOLÍS J, ARAMAYO V, BERNALES A, MARQUINA R, QUIPUZCOA L, ROMERO D, CORREA CHILON, GARCÍA D. 2019. Análisis de las condiciones oceanográficas y biológicas del afloramiento costero frente a Callao en períodos contrastantes durante el 2018. *Bol Inst Mar Perú.* 34(2): 519–543.
- HABURA A, GOLDSTEIN S, BRODERICK S, BOWSER S. 2008. A bush, not a tree: The extraordinary diversity of cold-water basal foraminiferans extends to warm-water environments: *Limnology & Oceanography.* 53: 1339 - 1351.
- IMARPE. 2010. *Caracterización Bio-Oceanográfica del área marino-costera entre Punta San Juan y Playa Yanyarina.* Instituto del Mar del Perú. 55 pp.
- KHUSID T A. 1974. Distribution of benthic foraminifers off the west coast of South America. *Oceanology.* 14: 900–904.
- KOHO K, PIÑA-OCHOA E. 2012. Benthic Foraminifera: Inhabitants of Low-Oxygen Environments. In A. Altenbach J, Bernhard J, Seckbach (Eds.). *Anoxia Evidence for Eukaryote Survival and Paleontological Strategies Series (Anoxia, Cellular Origin, Life in Extreme Habitats and Astrobiology).* Springer Science Business Media. pp. 249–285.
- LARKIN K, GOODAY A. 2004. Soft-shelled monothalamous foraminifera are abundant at an



- intertidal site on the south coast of England: *Journal of Micropalaeontology*. 23: 135 - 137.
- LEVIN L A, GUTIÉRREZ D, RATHBURN A, NEIRA C, SELLANES J, MUÑOZ P, GALLARDO V A, SALAMANCA M. 2002. Benthic processes on the Peru Margin: A transect across the oxygen minimum zone during the 1997-98 El Niño. *Progress in Oceanography*. 53: 1-27.
- LOEBLICH A R, TAPPAN H. 1998. Foraminiferal genera and their classification. New York: Van Nostrand Reinhold. 970 pp.
- MAYOR S. 1998. Foraminíferos calcáreos bénticos de la plataforma continental del norte peruano. *Inf Inst Mar Perú*. 136: 161-176.
- MERMA-MORA L. 2016. Foraminíferos bentónicos asociados a condiciones de hipoxia costera y bajo pH en la Bahía de Paracas. Tesis para optar el grado de Maestro en Ciencias del Mar. Universidad Peruana Cayetano Heredia. 134 pp.
- MERMA-MORA L. 2019. Estructura comunitaria de foraminíferos bentónicos en relación a factores ambientales en sedimentos marinos someros de la costa central del Perú. Tesis para optar el Título de Biólogo. Universidad Nacional Agraria La Molina. 74 pp.
- MORALES M D C, FIELD D, MAYOR S, GUTIÉRREZ D, SIFEDDINE A, ORTLIEB L, FERREIRA V, SALVATTECI R, VELAZCO F. 2006. Variaciones de foraminíferos de los últimos 460 años en sedimentos laminados de la plataforma continental peruana. *Bol. Soc. Geol. Perú*. 101: 5-18.
- MORÓN O, QUISPE J, FLORES G, LORENZO A, ROMERO L, NAKAZAKI C, SOLÍS J, GÓMEZ E. 2017. Aspectos físicos, químicos, biológicos y sedimentológicos: Ecosistema de San Juan de Marcona. Febrero 2014. *Inf Inst Mar Perú*. 44(2): 157-186.
- MURRAY J. 2006. Ecology and applications of benthic foraminifera. New York, USA: Cambridge University Press. 426 pp.
- MURRAY J W, BOWSER S S. 2000. Mortality, protoplasm decay rate, and reliability of staining techniques to recognize 'living' foraminifera: a review. *Journal of Foraminiferal Research*. 30: 66-77.
- NYHOLM K. 1957. Orientation and binding power of Recent monothalamous foraminifera in soft sediment: *Micropaleontology*. 3: 75-76.
- PÁEZ M, ZÚÑIGA O, VALDÉS J, ORTLIEB L. 2001. Foraminíferos bentónicos recientes en sedimentos micróxicos de la bahía Mejillones del Sur (23°S), Chile. *Rev Biol Mar Oceanogr*. 36: 129 - 139.
- PETTIT L, SMART C, HART M, MILAZZO M, HALL-SPENCER J. 2015. Seaweed fails to prevent ocean acidification impact on foraminifera along a shallow-water CO<sub>2</sub> gradient. *Ecology and Evolution*. 5(9): 1784-93.
- PHLEGER F B, SOUTAR A. 1973. Production of benthic foraminifers in three east Pacific oxygen minima. *Micropaleontol*. 19: 110-115.
- QUIPÚZCOA L, MARQUINA R, YUPANQUI W. 2001. Comunidades macrozoobentónicas registradas durante el crucero BIC José Olaya Balandra 0004-05. *Inf Inst Mar Perú*. 160: 107-128.
- QUIPÚZCOA L, GUTIÉRREZ D, ENRÍQUEZ E, MARQUINA R, YUPANQUI W. 2011. Macrobentos y condiciones ambientales en el verano 2004: Crucero BIC Olaya 0401-02. *Inf Inst Mar Perú*. 38(3): 347-355.
- RATHBURN A E, CORLISS B H. 1994. The ecology of living (stained) deep-sea benthic foraminifera from the Sulu Sea. *Paleoceanography*. 9: 87-150.
- SEIGLE G. 1973. Pyritization in living foraminifers. *Journal of Foraminiferal Research*. 3(1): 1-6.
- SEN GUPTA B K. 2003. Modern Foraminifera. New York: Kluwer Academic Publishers. 371 pp.
- SEN GUPTA B, MACHAIN-CASTILLO M. 1993. Benthic foraminifera in oxygen-poor habitats. *Marine Micropaleontology*. 20: 183-201.
- SCHÖNFELD J, AALVE E, GESLIN E, JORISSEN F J, KORSUN S, SPEZZAFERRI S, *et al.* 2012. The FOBIMO (Foraminiferal Bio-Monitoring) initiative—Towards a standardised protocol for soft-bottom benthic foraminiferal monitoring studies. *Mar. Micropaleontol*. 94-95, 1-13. doi: 10.1016/j.marmicro.2012.06.001
- TAPIA R, LANGE C B, MARCHANT M. 2008. Living (stained) calcareous benthic foraminifera from recent sediments off Concepción, central-southern Chile (~36°S) *Rev Chilena Hist Nat*. 81: 403-416.
- VERANO R. 1974. Foraminíferos del litoral del departamento de Lima. *Rev. peruana Biol*. 1: 63-80.