



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

Grado en Biología

Memoria del Trabajo de Fin de Grado

Dinámica del microzooplancton en una zona de afloramiento costero

Dinámica do microzooplancto nunha zona de afloramento costeiro

Microzooplankton dynamics in a coastal upwelling system

Sofía López Souto

Julio, 2017

*Directores: Dr. Antonio Bode Riestra
Dr. Luis Fernández Rodríguez*

ÍNDICE

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 2. OBJETIVOS | 2 |
| 3. MATERIAL Y MÉTODOS | 3 |
| 3.1 Área de estudio..... | 3 |
| 3.2 Recogida de muestras y procesado..... | 3 |
| 3.3 Procedimiento estadístico | 5 |
| 4. RESULTADOS | 5 |
| 4.1 Variabilidad ambiental..... | 5 |
| 4.2 Abundancia y composición del microzooplancton | 7 |
| 4.3 Dinámica de la comunidad..... | 8 |
| 4.4 Relación entre variabilidad ambiental y abundancia total del microzooplancton..... | 9 |
| 4.5 Relación entre variabilidad ambiental y composición de las muestras | 10 |
| 5. DISCUSIÓN | 11 |
| 5.1 Composición del microzooplancton..... | 11 |
| 5.2 Relación de la variabilidad ambiental con la abundancia total del microzooplancton | 11 |
| 5.3 Relación de la variabilidad ambiental con las diferentes muestras..... | 13 |
| 6. CONCLUSIÓN | 14 |
| 7. AGRADECIMIENTOS | 16 |
| 8. BIBLIOGRAFÍA | 17 |

RESUMEN

Se ha estudiado la dinámica del microzooplancton y su relación con las variables ambientales, en una zona de afloramiento costero de A Coruña. La investigación comprende un total de 9 muestras tomadas con frecuencia mensual durante el año 2015, en la costa de A Coruña. Se ha encontrado que el grupo dominante en la comunidad son los nauplios de copépodos, constituyendo en torno al 83% de la abundancia total, lo que concuerda con previos estudios en la región. La abundancia total presentó un máximo principal en mayo y otro secundario a finales de septiembre. Sin embargo, un análisis de escalamiento multidimensional reveló la existencia de cambios muy bruscos en la composición de la comunidad a lo largo del año sin una clara señal estacional. Las variables ambientales más relacionadas con la variabilidad en la comunidad del microzooplancton fueron la intensidad del afloramiento, las concentraciones de materia orgánica particulada y las de nutrientes disueltos. Estos resultados sugieren que la comunidad de microzooplancton responde principalmente a la disponibilidad de recursos tróficos.

RESUMO

Estudouse a dinámica do microzooplancton e a súa relación coas variables ambientais, nunha zona de afloramento costeiro de A Coruña. A investigación comprende un total de 9 mostradas tomadas cunha frecuencia mensual durante o ano 2015, na costa de A Coruña. Atopouse que o grupo dominante na comunidade son os nauplios de copépodos, constituíndo en torno ao 83% da abundancia total, o que concorda coa topado en estudos previos na rexión. A abundancia total presentou un máximo principal en maio e outro secundario a finais de setembro. Sen embargo, unha análise de escalamento multidimensional revelou a existencia de cambios moi bruscos na composición da comunidade ao longo do ano, sen unha clara sinal estacional. As variables ambientais máis relacionadas coa variabilidade na comunidade do microzooplancton foron a intensidade dos afloramentos, as concentracións da materia orgánica particulada e dos nutrientes disoltos. Estes resultados suxiren que a comunidade do microzooplancton responde principalmente á dispoñibilidade dos recursos tróficos.

ABSTRACT

This work focuses on the study of the microzooplankton's dynamics and their link with environmental variables. This study was conducted in a coastal upwelling system in A Coruña, and the 9 monthly-taken samples used were collected during 2005. It has been found that, the same as in previous studies carried out the same region, the dominant group is the one formed by the copepod nauplii, which constitute 83% of the total abundance. The total abundance reached its main maximum in May, and a secondary one at the end of September. However, a multidimensional scaling analysis showed abrupt changes in the community's composition throughout the year, without a clear seasonal signal. The upwelling intensity, the concentration of particulate organic matter and the concentration of dissolved nutrients were those environmental variables most related to the variability of the community of microzooplankton. These results suggest that the microzooplankton community mainly responds to the availability of trophic resources.

PALABRAS CLAVE

Microzooplancton/ composición/ abundancia/ afloramientos/ variabilidad ambiental/ Galicia

PALABRAS CRAVE

Microzooplancton/ composición/ abundancia/ afloramientos/ variabilidade ambiental/
Galicia

KEY WORDS

Microzooplankton/ composition/ abundance/ upwelling/ environmental variability/ Galicia

1. INTRODUCCIÓN

El microzooplancton está constituido por organismos heterótrofos planctónicos cuyo tamaño oscila entre 20 y 200 μ m, según la clasificación de Sieburth *et al.* (1978). En ambientes pelágicos marinos, estos heterótrofos agrupan normalmente a protozoos y larvas de metazoos (Quevedo y Anadón, 2000). Su elevada importancia trófica se debe a que se sitúa en el inicio de la cadena trófica pelágica, transfiriendo la energía hacia los niveles superiores (Calbet y Landry, 2004), debido a su papel como consumidor de fitoplancton a la vez que es presa de los metazoos (Quevedo y Anadón, 2000). Debido a la corta duración de su ciclo de vida y a la gran variabilidad que presentan en su biomasa y abundancia, los organismos del plancton son considerados buenos indicadores de los cambios ambientales, especialmente en zonas de alta producción biológica, como son los afloramientos costeros (Bode *et al.*, 2009).

En la costa de Galicia, los vientos del norte son muy frecuentes durante la mayor parte de la primavera y el verano, e inducen la formación de los afloramientos costeros que caracterizan a esta región y que le otorgan una gran productividad (Bode *et al.*, 2009). En la plataforma gallega se estima que los organismos del microzooplancton contribuyen en un 82% a la producción zooplanctónica total, incluyendo además una gran cantidad de meroplancton, es decir, larvas y juveniles de otros organismos planctónicos y bentónicos de mayor tamaño (Valdés *et al.*, 1992).

Estudios previos en esta región han relacionado la composición, abundancia y biomasa de las comunidades de fitoplancton y mesozooplancton, con la variabilidad ambiental (por ejemplo Valdés *et al.*, 1991; Casas *et al.*, 1999; Bode *et al.*, 2009). Sin embargo en el caso del microzooplancton, únicamente se han publicado estudios descriptivos de su abundancia y composición, como los estudios realizados en la plataforma gallega por Valdés *et al.* (1992), o los realizados en la costa cantábrica por Quevedo y Anadón (2000), o un estudio más detallado sobre los protistas del microzooplancton del Atlántico noreste, realizado por Quevedo *et al.* (2003).

2. OBJETIVOS

En este estudio se analiza la dinámica del microzooplancton durante un ciclo anual en una serie de muestras recogidas en la costa de A Coruña, mediante la medida de la abundancia total y la de los distintos grupos taxonómicos, así como sus relaciones con los principales factores ambientales.

3. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1 Área de estudio

La recogida de muestras se llevó a cabo en aguas de la costa de A Coruña durante el año 2015. El punto exacto del muestreo es denominado Estación 2, de 80m de profundidad, que forma parte del transecto realizado en la costa coruñesa para el proyecto RADIALES (seRies temporAles De oceanografía en eL norte de ESpaña) del IEO, cuya finalidad es obtener una serie histórica de datos oceanográficos del NO de España (<http://www.seriestemporales-ieo.com/>) (Fig.1). El desplazamiento hasta la zona de estudio, así como la toma de muestras, se realizó a bordo del buque oceanográfico *Lura*, perteneciente al Centro Oceanográfico de A Coruña.

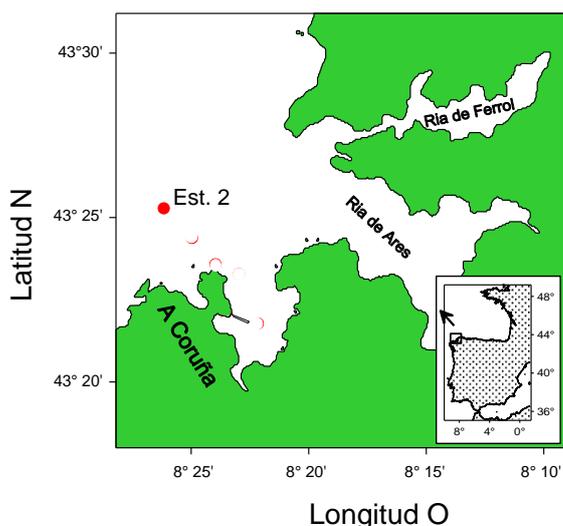


Fig.1. Mapa de la costa coruñesa, donde se especifica la situación de la Estación 2, lugar de muestreo en el estudio. (Fuente: IEO)

3.2 Recogida de muestras y procesado

Para el muestreo del microzooplancton se empleó una red bongo de 40 μ m de malla y 28cm de diámetro (Fig.2A), con la cual se realizó un arrastre vertical desde la profundidad a la que se encontraba el máximo de clorofila (50m), hasta la superficie. Las muestras obtenidas se fijaron con formol a una concentración final del 4% y se conservaron en un lugar fresco hasta el momento de su análisis.

El total de muestras recogidas en el año 2015 fue de 9, correspondientes con los meses de marzo, abril, mayo, junio, julio, septiembre (2 muestras), noviembre y diciembre. Los datos de las variables ambientales medidas, incluyen a mayores el mes de enero. La ausencia de datos algunos meses se debe a las malas condiciones del mar para salir a muestrear o a la posterior pérdida de la muestra.

Los perfiles verticales de temperatura, salinidad y densidad se obtuvieron a partir de un Seabird-25 CTD (Conductivity, Temperature and Depth) incorporado a una roseta equipada con botellas oceanográficas Niskin de 5 litros (Fig.2B), con las cuales se recogieron muestras de agua a las profundidades de: 2, 5, 10, 20, 30, 40 y 70 metros.

En estas muestras se analizaron las concentraciones de materia orgánica particulada, nutrientes y gases disueltos. Entre las primeras se consideraron la clorofila a (C_{la}), como indicador de la biomasa de fitoplancton, y el carbono y nitrógeno orgánico particulados (POC y PON, respectivamente) como indicadores de la cantidad y calidad de las potenciales partículas alimenticias para el microzooplancton (fitoplancton, otro zooplancton y detritus). Entre las segundas se consideraron las principales sales nutrientes para el fitoplancton: nitrato (NO₃⁻), nitrito (NO₂⁻), amonio (NH₄⁺), fosfato (PO₄) y silicato [(SiO₃)₂]_n, y el oxígeno (O₂) como indicador de la producción primaria. Los procedimientos detallados de estos análisis se pueden encontrar en Casas *et al.* (1999) y Bode *et al.* (2011). Para los propósitos de este estudio, los valores de concentración de las variables ambientales seleccionadas se integraron en la columna de agua.

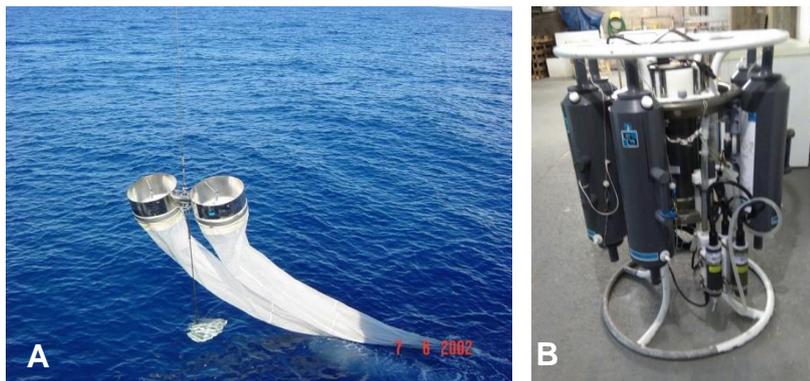


Fig.2 A: Ejemplo de red bongo con malla de 40µm, empleada para el muestreo de microzooplancton. (Fuente: IEO) B: Roseta con las botellas Niskin de 5l y el CTD incorporado. (Fuente: propia)

El efecto del afloramiento se representó mediante el índice de afloramiento (UI), que indica el transporte de Ekman de agua superficial causado por el viento. En este estudio se empleó la medida del número de días en los que este transporte es positivo, acumulado en los periodos de 15 días (DUI_15d) o 30 días (DUI_1m) anteriores al muestreo de microzooplancton. Este índice pretende recoger las condiciones ambientales previas al muestreo que potencialmente influyen en el desarrollo de los organismos (González-Nuevo *et al.*, 2014). Para su cálculo se han empleado los valores diarios del índice de afloramiento calculado por el Instituto Español de Oceanografía para una celda de 1° x 1° centrada en 44°N, 9°O frente a las Rías Altas de Galicia (<http://www.indicedeafloramiento.ieo.es/>).

La abundancia de distintos grupos taxonómicos de microzooplancton se determinó mediante la identificación y el recuento del número de individuos de cada grupo taxonómico, en un microscopio estereoscópico, modelo Nikon SMZ800, con un aumento máximo de 60x. Las alícuotas examinadas presentaban un volumen de 1 o 2ml en función de la densidad de individuos en la muestra, y el número de alícuotas se establecía generalmente en 3 para poder hallar una media, llegando a ser examinada la muestra en su totalidad si la abundancia total no superaba los 100 individuos.

Todos los datos resultantes del recuento se anotaban en un estadillo con la fecha del muestreo y el volumen de cada una de las alícuotas examinadas.

3.3 Procedimiento estadístico

Con los datos de todas las variables ambientales integradas en la columna de agua o promediadas, se creó una matriz de datos ambiental. A partir de los datos de abundancia de cada uno de los grupos taxonómicos del microzooplancton (a excepción de los nauplios de copépodos) se creó una matriz biológica.

A esta matriz biológica se le aplicó una transformación de la raíz cuarta para disminuir el peso con el que contribuyen los grupos taxonómicos más dominantes y se calculó la similitud entre pares de muestras mediante el índice de Bray Curtis. A la matriz de similitudes se le aplicó un análisis de agrupamiento (Clúster) y un análisis de escalamiento multidimensional no métrico (MDS- non metric Multi-Dimensional Scaling) que permitió observar la ordenación de las muestras en el espacio.

Los datos ambientales fueron normalizados y a partir de ellos se generó una matriz de correlaciones que permitió seleccionar las variables ambientales más adecuadas, eliminando algunas de las más correlacionadas entre ellas. A continuación, se calculó una matriz de similitudes entre muestras, utilizando el índice de la distancia euclídea. La correlación entre las matrices de similitudes de microzooplancton y de las variables ambientales se estudió mediante el procedimiento BEST (Clarke y Gorley, 2006), con la finalidad de seleccionar las variables ambientales que mejor explican los patrones observados en la comunidad del microzooplancton.

El análisis estadístico de los datos se realizó empleando el programa PRIMERV6 (Clarke y Gorley, 2006).

4. RESULTADOS

4.1 Variabilidad ambiental

La estratificación térmica en la columna de agua no presentó grandes cambios a lo largo del año. La temperatura disminuyó de manera progresiva con la profundidad, de manera que la temperatura de superficie (5m) fue en todos los meses superior a la del fondo (70m), a excepción del mes de enero en el que la temperatura del fondo alcanzó un valor de 12.88°C, 0.44°C por encima de la superficial. En el resto de meses se observó un aumento de la temperatura en superficie en los meses de verano, mientras que a una profundidad aproximada de 70m se mantuvo casi constante, exceptuando el mes de noviembre, en el que se observaron los máximos valores del año en toda la columna de agua, llegando a alcanzar los 16.46°C en el fondo (Fig.3A).

Las variables de la materia orgánica particulada (POC_i y PON_i), presentaron patrones de variación muy similares a lo largo de todo el año, observándose las concentraciones máximas en los meses de abril y junio, coincidiendo con periodos de afloramiento (Fig.3B-C). En contraste, la clorofila *a* mostró sucesivos periodos de incremento y descenso de su concentración a lo largo del año, alcanzando el pico máximo en el mes de marzo y el

mínimo en diciembre (Fig.3D). En general, se observó cómo las mayores concentraciones de clorofila se produjeron entre la primavera y el otoño.

El índice de afloramientos DUI_15d mostró que los afloramientos que más se prolongaron en el tiempo ocurrieron en los meses de junio y septiembre, con 11 días de afloramiento positivo, mientras que los de menor duración ocurrieron en los meses de noviembre y marzo (Fig.3E).

Por otra parte, el índice de afloramientos DUI_1m mostró una mayor prevalencia de los afloramientos en los meses de junio, julio y septiembre, con 24, 22 y 20 días de afloramiento positivo, respectivamente. En este caso los de menor duración se corresponden con los meses de marzo y diciembre (Fig.3F).

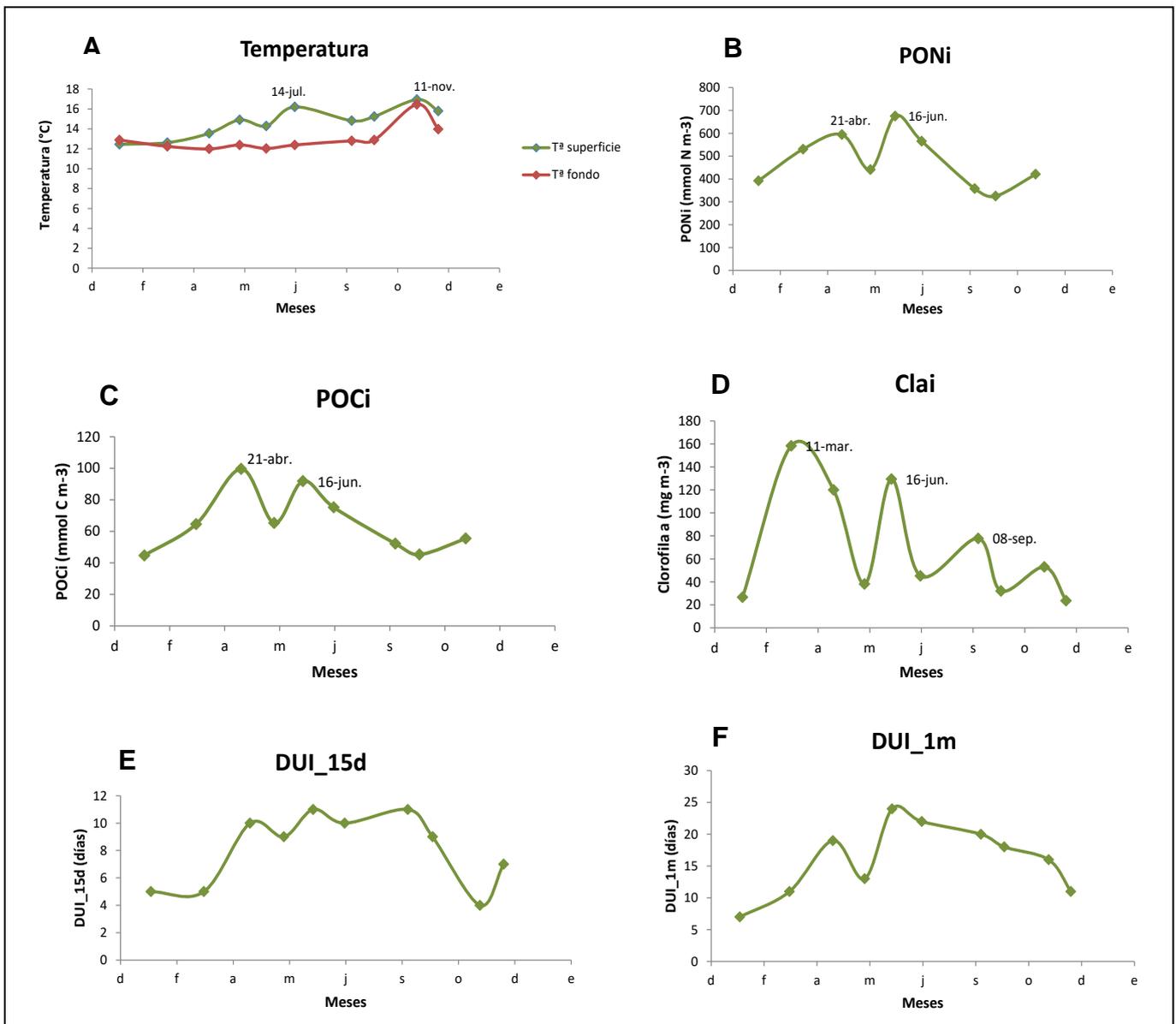


Fig. 3. Variación temporal de: A: Temperatura (°C), B: PON_i (mmol N m⁻³), C: POC_i (mmol C m⁻³), D: Clai (mg m⁻³), E: DUI_{15d} (días), F: DUI_{1m} (días).

4.2 Abundancia y composición del microzooplancton

La abundancia total del microzooplancton presentó dos máximos marcados; el principal ocurrió en primavera (mayo), con un recuento de 40855 individuos m^{-3} , y el secundario a finales del verano (finales de septiembre) con unos 23263 individuos m^{-3} . Los mínimos valores se encontraron en los meses de junio y julio, en los que se cuantificaron unos 4591 y 2457 individuos m^{-3} , respectivamente (Fig.4).

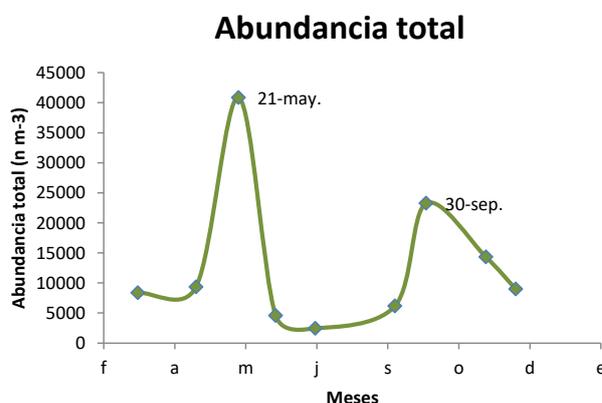


Fig. 4. Variación temporal de la abundancia total del microzooplancton (individuos m^{-3}).

En la composición del microzooplancton se han descrito 15 grupos taxonómicos, llegando a nivel de especie en los casos en los que era posible su identificación en el microscopio estereoscópico.

El grupo dominante fue el correspondiente a las larvas nauplius de copépodos, con un promedio mensual de 10963 individuos m^{-3} , representando el 83% de la abundancia total (Fig.5). Debido a su elevado peso en el análisis estadístico, se decidió eliminar a los nauplios de la matriz de datos del microzooplancton para poder analizar mejor las interacciones entre el resto de grupos taxonómicos.

En ausencia de nauplios, los grupos más abundantes en la comunidad del microzooplancton fueron, en orden decreciente: los copépodos ciclopoideos con un promedio mensual de 674 individuos m^{-3} (31%), los foraminíferos con 308 individuos m^{-3} (14%), las larvas de bivalvos con 277 individuos m^{-3} (13%) y las apendicularias con 215 individuos m^{-3} (10%). El resto de grupos taxonómicos presentaron una abundancia total inferior al 10% (Fig.6).

Examinando de manera detallada la composición de cada una de las muestras, se observó que algunos grupos taxonómicos sólo aparecían en uno de los meses. Este es el caso del mes de diciembre, el cual destaca por la presencia de larvas de equinodermos, radiolarios, y las especies de ciliados tintínidos *Dictyocysta* spp., *Codonella* spp., *Undellopsis marsupialis* y *Proplectella* spp, las cuales no fueron encontradas en ninguna otra muestra. También cabría destacar la presencia de los tintínidos *Tintinnopsis campanula* en el mes de marzo y, *Stenosemella* spp. en junio, así como la aparición de larvas de cnidarios en noviembre.

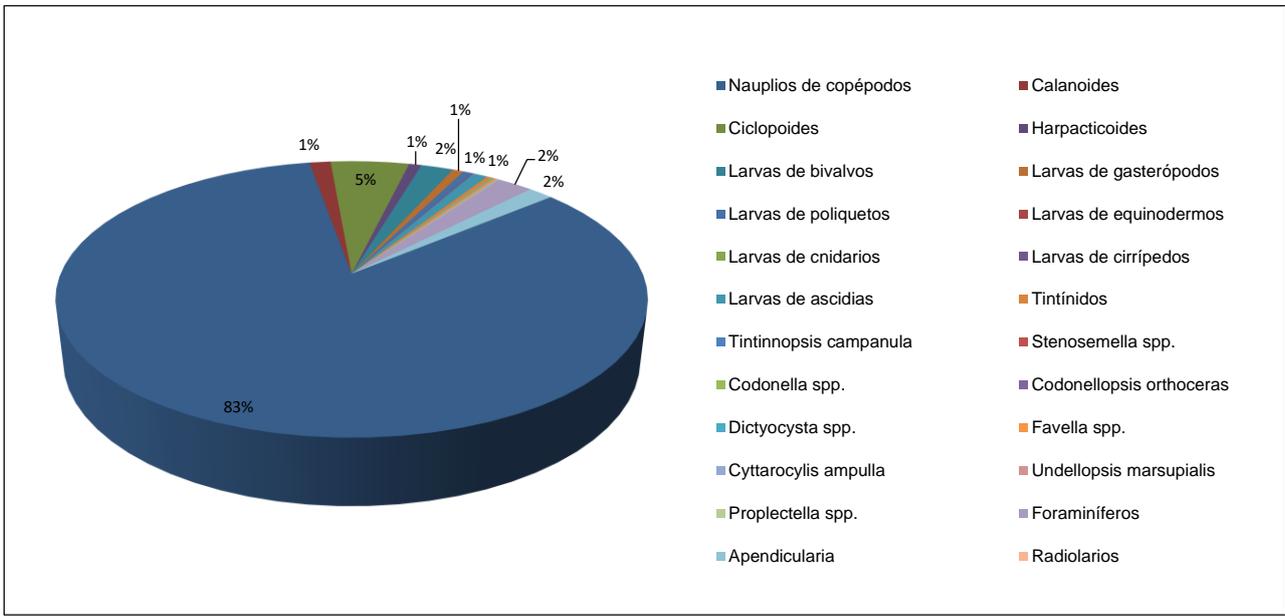


Fig.5. Porcentajes de abundancia de cada uno de los grupos taxonómicos presentes en las muestras, incluyendo los nauplios de copéodos.

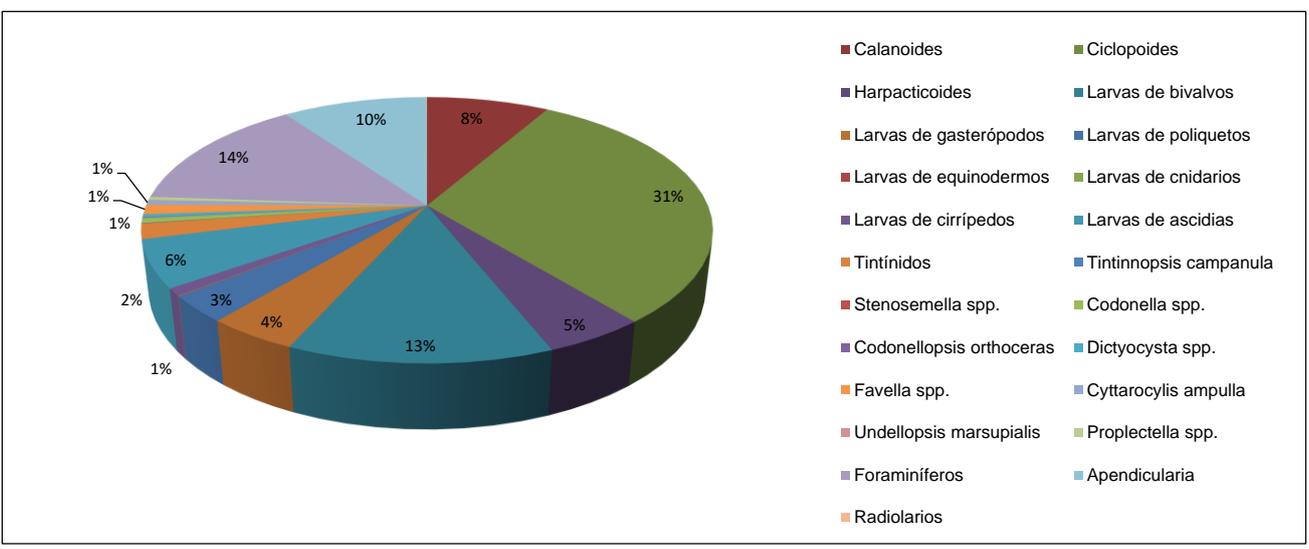


Fig.6. Porcentaje de abundancia de cada uno de los grupos taxonómicos presentes en las muestras, sin incluir los nauplios de copéodos.

4.3 Dinámica de la comunidad

Los resultados del análisis MDS produjeron una ordenación de las muestras que no se corresponde con los patrones mostrados en la abundancia total (Fig.7). En general, todas las muestras presentan una similitud en composición taxonómica, excluyendo a los nauplios de copéodos, mayor del 40% (delimitados con una línea verde en la Fig.7). Considerando una similitud del 60%, se observaron tres grupos: por un lado la muestra

de diciembre (la más disimilar del resto), un grupo formado por las muestras de marzo y mayo, y un tercer grupo formado por el resto de muestras.

Los valores de abundancia total no concuerdan con esta separación, y así por ejemplo se observó que la muestra de diciembre, con valores similares de abundancia a los de abril o marzo, presenta una similitud relativamente baja con éstas.

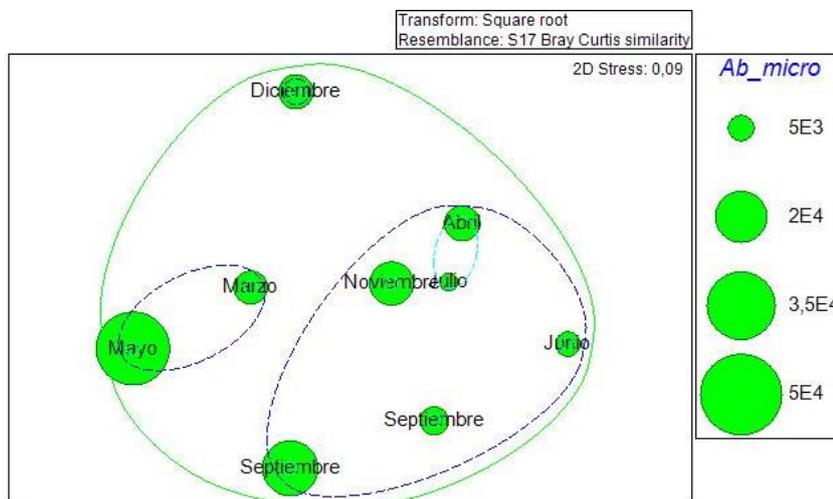


Fig. 7. Ordenación de las muestras según un análisis de escalamiento multidimensional (MDS). Las líneas de color azul claro, azul oscuro y verde agrupan las muestras con una similitud mayor de 80%, 60% y 40%, respectivamente.

4.4 Relación entre variabilidad ambiental y abundancia total del microzooplancton

Las variables ambientales que mejor se ajustaron a un modelo de regresión lineal con la abundancia total de microzooplancton fueron DUI_1m, PO₄, Cla_i, PON_i y NO₃ (Tabla 1).

De entre estas variables, los factores que aportarían una mejor estima de la abundancia del microzooplancton serían los afloramientos y los nutrientes disueltos, en concreto el PO₄ ($r^2=0.301$). Sin embargo, ninguno de ellos presenta una correlación significativa con la abundancia total ($P>0.05$).

Tabla 1. Aparecen recogidas las variables ambientales que presentan mayor correlación con la abundancia total del microzooplancton. r^2 : coeficiente de determinación.

| Variable | Coeficiente de determinación (r^2) | Valor crítico de F |
|------------------|--|--------------------|
| DUI_1m | 0.304 | 0.261 |
| PO ₄ | 0.301 | 0.126 |
| Cla _i | 0.180 | 0.255 |
| PON _i | 0.149 | 0.537 |
| NO ₃ | 0.117 | 0.368 |

4.5 Relación entre variabilidad ambiental y composición de las muestras

En el estudio de las variables ambientales se ha observado que muchas de ellas estaban correlacionadas significativamente (Tabla 2). Entre los pares de variables con mayor correlación, se seleccionaron las siguientes para introducir en el análisis BEST: PON_i, NO₃, DUI_1m, O₂ y temperatura del agua en el fondo. Las concentraciones de nitrato y de PON_i representan la disponibilidad de nitrógeno inorgánico para la producción primaria y de nitrógeno orgánico para los consumidores del microzooplancton. La concentración de oxígeno, la temperatura de fondo y el índice afloramiento (DUI_1m), son indicadores de la duración y efectos del afloramiento.

Tabla 2. Matriz de correlaciones de las variables ambientales. En gris, las variables con correlación significativa (P<0.05).

| | Tª fondo | Tª super. | Clai | POCi | PONi | NO3 | NO2 | PO4 | NH4 | Silicato | O2 | DUI_15d | DUI_1m |
|-----------|----------|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|-------|---------|--------|
| Tª fondo | 1 | | | | | | | | | | | | |
| Tª super. | 0,710 | 1 | | | | | | | | | | | |
| Clai | -0,434 | -0,823 | 1 | | | | | | | | | | |
| POCi | -0,503 | -0,442 | 0,635 | 1 | | | | | | | | | |
| PONi | -0,463 | -0,425 | 0,691 | 0,955 | 1 | | | | | | | | |
| NO3 | -0,175 | -0,090 | -0,026 | -0,503 | -0,404 | 1 | | | | | | | |
| NO2 | 0,809 | 0,600 | -0,454 | -0,653 | -0,529 | 0,147 | 1 | | | | | | |
| PO4 | -0,138 | 0,046 | -0,024 | -0,388 | -0,257 | 0,937 | 0,181 | 1 | | | | | |
| NH4 | -0,367 | -0,289 | 0,326 | 0,492 | 0,541 | -0,357 | -0,150 | -0,253 | 1 | | | | |
| Silicato | 0,021 | -0,004 | -0,167 | -0,649 | -0,545 | 0,874 | 0,321 | 0,765 | -0,606 | 1 | | | |
| O2 | -0,494 | -0,645 | 0,774 | 0,850 | 0,862 | -0,536 | -0,610 | -0,484 | 0,632 | -0,653 | 1 | | |
| DUI_15d | -0,689 | -0,153 | 0,011 | 0,413 | 0,291 | 0,217 | -0,724 | 0,248 | -0,086 | 0,018 | 0,063 | 1 | |
| DUI_1m | -0,278 | 0,117 | 0,144 | 0,586 | 0,567 | 0,075 | -0,334 | 0,276 | 0,020 | -0,125 | 0,125 | 0,713 | 1 |

Los resultados del análisis BEST (Tabla 3) indicaron que las variables que más influyen en la correlación entre las matrices de similitudes de la comunidad de microzooplancton y ambiental son PON_i y DUI_1m (ρ Spearman = 0.592, P<0.01).

Tabla 3. Variables ambientales que más contribuyen a la correlación entre las matrices de similitud de microzooplancton y ambiental en el análisis BEST. ρ = coeficiente de correlación de Spearman (P<0.01).

| Variables seleccionadas | ρ |
|--|--------|
| PON _i y DUI_1m | 0.592 |
| O ₂ y DUI_1m | 0.559 |
| PON _i , O ₂ y DUI_1m | 0.551 |
| PON _i , NO ₃ , O ₂ y DUI_1m | 0.530 |

5. DISCUSIÓN

5.1 Composición del microzooplancton

En todas las muestras analizadas se observó que los grupos dominantes en la comunidad microzooplanctónica fueron las larvas nauplius de copépodos, seguidos de los copépodos ciclopoideos y los foraminíferos. En el holoplancton, la dominancia de los nauplios de copépodos y de los copépodos ciclopoideos, concuerda con lo encontrado en estudios previos en la costa gallega realizados por Valdés *et al.* (1992). Sin embargo, la importancia de la abundancia de los foraminíferos (14% del total) encontrada en nuestros muestreos, no coincide con la encontrada por Valdés *et al.* (1992), en donde otros grupos como las apendicularias presentan mayor importancia llegando incluso a ser el segundo grupo más abundante durante los muestreos en verano.

Dentro del meroplancton, los únicos organismos que destacan por su abundancia son las larvas de bivalvos, coincidiendo también con los resultados alcanzados por Valdés *et al.* (1992) para la costa gallega.

5.2 Relación de la variabilidad ambiental con la abundancia total del microzooplancton

Según los resultados de este estudio la variable más correlacionada con la abundancia total fue el factor afloramientos mediante el índice DUI_1m, que muestra los periodos de afloramiento con mayor duración poco antes de que se produzcan los picos de abundancia. Al examinar con más detalle estas relaciones se encontró que la abundancia total del microzooplancton parece responder con un periodo de retraso a la producción primaria, ya que los incrementos de microzooplancton están desplazados entre 1 y 2 meses con respecto a los principales máximos de duración de afloramiento y clorofila (Fig.8A).

Estos retrasos indican que el microzooplancton responde de manera indirecta a los afloramientos y a los pulsos de producción primaria que inducen, porque son organismos heterótrofos que se alimentan de fitoplancton o de pequeños protistas que deben acumularse en cantidad suficiente para tener un efecto apreciable en el incremento de microzooplancton. Mientras que el fitoplancton sí que responde de manera directa a la prevalencia de los afloramientos en la zona de estudio, aumentando su biomasa y la producción primaria (Bode *et al.*, 2011). Por tanto, el microzooplancton responderá después de que responda la población del fitoplancton, y esto sí aparece reflejado en nuestro estudio, donde se puede ver un desplazamiento temporal entre los valores de la clorofila a y la abundancia del microzooplancton, que presentan las mismas tendencias pero desplazadas en el tiempo (Fig.8B).

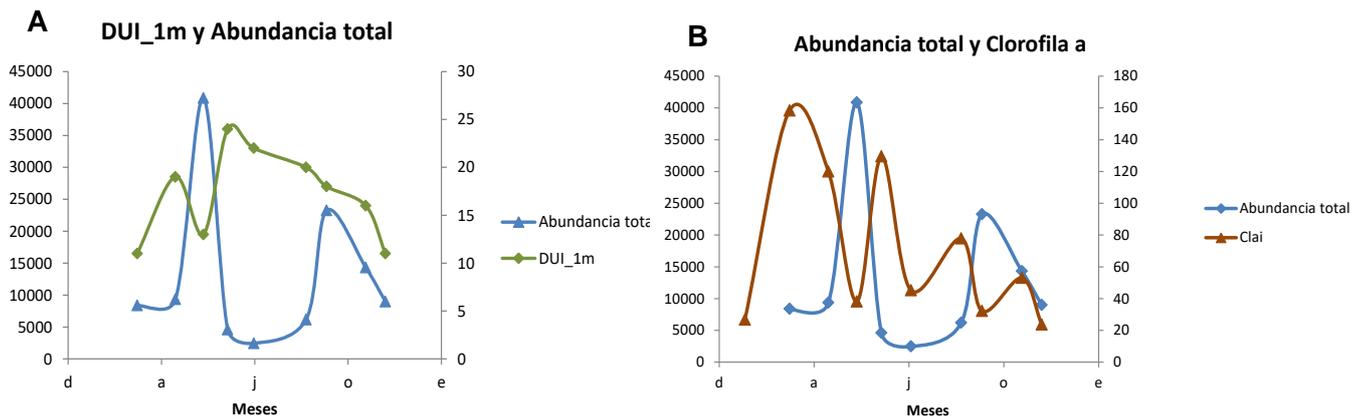


Fig. 8. A: Variación temporal en la abundancia total del microzooplancton frente al índice de afloramientos (DUI_1m (días)). B: frente a la clorofila a (mg m^{-3}).

Sin embargo, no todos los periodos de mayor prevalencia en los afloramientos se corresponden con máximos en la población del microzooplancton. Un buen ejemplo se puede observar en este estudio en los meses de junio y julio, en los cuales la abundancia total decrece bruscamente, a pesar de que el DUI_1m correspondiente a esos meses es de los más elevados (Fig.8A) y que se observa un incremento en la clorofila y los nutrientes particulados: PON y POC (Fig.9).

Estos cambios bruscos observados en la comunidad son debidos a que el microzooplancton está formado en gran parte por meroplancton; larvas de otros organismos mayores planctónicos y bentónicos que pasan tan solo parte de su ciclo vital formando parte del microzooplancton. De manera que cuando las larvas crecen, se convierten en organismos de otras comunidades, disminuyendo de manera brusca la abundancia total del microzooplancton en algunos meses del estudio.

Este tipo de cambios bruscos causados por el meroplancton, han sido observados también en anteriores estudios de otras comunidades como el mesozooplancton. De este modo, Valdés *et al.* (1991) ya describía grandes fluctuaciones en la abundancia del mesozooplancton en una de las estaciones de A Coruña, durante los meses de invierno. Estas fluctuaciones, señalaba que eran debidas a la presencia de nauplios de cirrípedos durante esos meses.

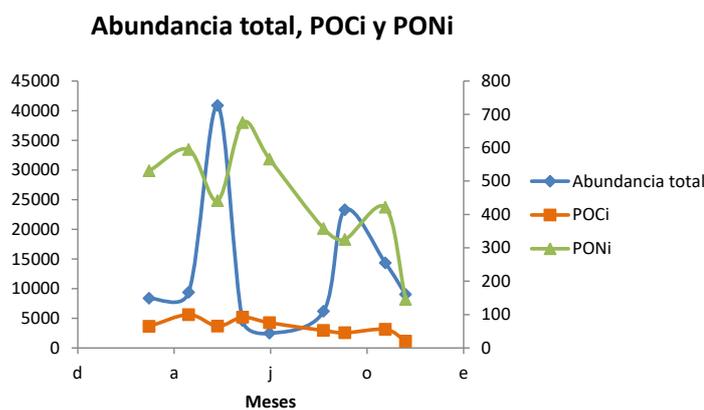


Fig. 9. Variación temporal de la abundancia total del microzooplancton frente a la materia orgánica particulada: PON_i (mmol N m⁻³) y POC_i (mmol C m⁻³).

La correlación observada entre la concentración de fosfato y la abundancia total de microzooplancton puede interpretarse como una respuesta del microzooplancton al incremento en la biomasa del fitoplancton, ya que se ha demostrado en otros estudios la existencia de correlaciones positivas entre el fosfato y la producción primaria y biomasa de fitoplancton (Bode *et al.*, 2011), a pesar de que como se ha visto (Fig.8) no hay correlación significativa directa entre la abundancia y la clorofila a, sino retrasada en el tiempo. Este tipo de relaciones complejas entre el microzooplancton y la producción y biomasa del fitoplancton ya han sido encontradas en otros estudios (Quevedo *et al.*, 2003).

5.3 Relación de la variabilidad ambiental con las diferentes muestras

En base a los resultados obtenidos en la ordenación de las muestras mediante el MDS, se ha observado que la abundancia total del microzooplancton no explica las diferencias existentes entre los meses, lo que parece indicar que estas diferencias son debidas a cambios en su composición. Esto explicaría por qué el mes de diciembre es el que más alejado se encuentra del resto en el gráfico, presentando una serie de grupos taxonómicos y especies, que sólo han sido encontradas en esa muestra, como por ejemplo *Dictyocysta* spp., dentro del grupo de los tintínidos, o larvas de equinodermos, entre otros.

Las variables ambientales que más contribuyen a esas diferencias en la composición, según el análisis BEST, son el nitrógeno orgánico y el índice de afloramientos DUI_1m.

Como ya comentamos previamente para la abundancia total, el factor afloramientos, ya sea el índice DUI_1m o IU_1m, tiene un efecto positivo en el fitoplancton y la producción primaria, debido a que con los afloramientos se produce el incremento de los nutrientes en la zona, los cuales sirven de alimento para los productores primarios, provocando así ese efecto directo en el fitoplancton (Bode *et al.*, 2009).

Estos factores ambientales, junto con otros no estudiados, y las diferentes condiciones climáticas, podrían ser la causa de los distintos patrones observados en la composición de la comunidad del microzooplancton en función del mes. Pero para saber de manera detallada como responde cada uno de los grupos taxonómicos incluidos en este estudio, a

las condiciones ambientales, sería necesario analizar de manera individual las relaciones entre ambos tipos de variables: cada grupo o especie con respecto a cada factor ambiental registrado.

6. CONCLUSIÓN

En este estudio se ha descrito la dinámica del microzooplancton durante un periodo de un año, en un ecosistema de afloramientos situado en la costa de A Coruña. Para explicar la dinámica que sigue la población del microzooplancton se ha analizado la relación que presentan las variables medidas para los organismos; abundancia total y composición, con las variables ambientales correspondientes a la zona del muestreo.

Los nauplios de copépodos fueron los principales contribuyentes a la abundancia total del microzooplancton, que presentó un patrón de variación caracterizado por un máximo principal en primavera y otro secundario al final del verano.

La abundancia total del microzooplancton presentó una correlación positiva con la duración de los afloramientos, así como también, con la concentración de ciertos nutrientes, principalmente el fosfato, lo que indica una dependencia del alimento disponible. En contraste, la composición de la comunidad de microzooplancton, experimentó cambios muy bruscos a lo largo del año, lo que puede atribuirse principalmente a la aparición y desaparición de larvas meroplanctónicas de organismos que pasan su vida adulta en las comunidades de mesozoplancton y del bentos.

Al igual que en el caso de la abundancia total, los factores ambientales más correlacionados con la composición de la comunidad fueron el afloramiento y la disponibilidad de alimento en la zona, indicados por las concentraciones de materia orgánica (ej. PON) y los nutrientes inorgánicos (ej. PO_4).

No obstante, para la mejora o confirmación de los resultados obtenidos sería necesaria la realización de nuevos estudios que incluyesen medidas de biomasa del microzooplancton, en lugar de conteo del número de individuos. De esta forma se conseguiría más precisión en los resultados, ya que no siempre un número elevado de individuos significa una elevada biomasa.

Otra de las posibles mejoras a introducir en el estudio del microzooplancton sería la identificación a nivel de especie de todos los microorganismos examinados, especialmente de los ejemplares del meroplancton. De este modo se podrían confirmar las causas de variabilidad apuntadas en este estudio.

CONCLUSIÓN

Neste estudo describiuse a dinámica do microzooplancto durante un período dun ano nun ecosistema de afloramentos situado na costa de A Coruña. Para explicar a dinámica que segue a poboación do microzooplancto analizouse a relación que presentan as variables medidas para os organismos; abundancia total e composición, coas variables ambientais correspondentes á zona da mostraxe.

Os nauplios de copéodos foron os principais contribuíntes á abundancia total do microzooplancto, que presentou un patrón de variación caracterizado por un máximo principal na primavera e outro secundario a finais do verán.

A abundancia total do microzooplancto presentou unha correlación positiva coa duración dos afloramentos, así como tamén, coa concentración de certos nutrientes, principalmente o fosfato, o que suxire unha dependencia do alimento dispoñible. En contraste, a composición da comunidade de microzooplancto, experimentou cambios moi bruscos ao longo do ano, o que pode atribuírselle a aparición e desaparición de larvas meroplánctónicas de organismos que pasan a súa vida adulta nas comunidades do mesozoplancto e do bentos.

Ao igual que no caso da abundancia total, os factores ambientais máis correlacionados coa composición da comunidade foron o afloramento e a dispoñibilidade do alimento na zona, indicados polas concentracións de materia orgánica (ex. PON) e os nutrientes (ex. PO₄).

Non obstante, para a mellora ou confirmación dos resultados obtidos sería necesaria a realización de novos estudos que inclúsen medidas de biomasa do microzooplancto, no lugar de contaxes do número de individuos. Dista forma acadaríase unha maior precisión nos resultados, xa que non sempre un número elevado de individuos significa unha elevada biomasa.

Outra das posibles melloras a introducir no estudo do microzooplancto sería a identificación a nivel de especie de todos os microorganismos examinados, especialmente dos exemplares do meroplancto. Deste modo poderíanse confirmar as causas de variabilidade apuntadas neste estudo.

CONCLUSION

In this study, the annual dynamics of microzooplankton in an upwelling ecosystem located in the coast of A Coruña is studied. In order to explain the dynamics followed by the population of microzooplankton, the relationship between the measured variables and the organisms were analyzed: said variables were the total abundance and composition, with those environmental variables corresponding to the sampling area.

Copepod nauplii were the main contributors to the total abundance of microzooplankton, which showed a variability pattern characterized by a main maximum in spring and a secondary one at the end of summer.

Total abundance of microzooplankton showed positive correlation with the duration of upwelling events. In addition, there was also found a positive correlation with the concentration of certain nutrients, such as phosphate, which suggests the existence of a dependence on the available food. On the contrary, the composition of the microzooplankton community showed abrupt changes during the year. These changes in the composition can be due to the appearance and disappearance of the meroplanktonic larvae of those organisms that spend their adult life in the communities of the mesozoplankton and benthos.

As in the case of the total abundance, the environmental factors more correlated with the composition of the community were the upwelling and the availability of food in the area, the latter indicated by the concentration of organic matter (e.g. PON) and inorganic nutrients (e.g. PO₄).

However, in order to improve or further support these results, new studies including biomass measurements of microzooplankton should be carried out. This way, the results obtained would be more accurate, as a high number of individuals does not always mean high values of biomass.

Another of the possible improvements that should be included in new studies of microzooplankton would be the identification at the level of species of all analyzed organisms, especially those from the meroplankton. This way, the causes of variability described in this study could be confirmed.

7. AGRADECIMIENTOS

Mi sincero agradecimiento a todas las personas que hicieron posible la realización de este trabajo. En especial, al Dr. Antonio Bode Riestra, por haber aceptado dirigirme en este proyecto y por toda la ayuda brindada, sin la cual no hubiese sido posible elaborar este TFG. Dar las gracias también a un gran número de técnicos y científicos del centro oceanográfico de A Coruña, por la recopilación y disposición de muchos de los datos empleados, y en especial a Elena Rey por haberme formado en la identificación del microzooplancton, base de este proyecto.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Bode, A., Anadón, R., Morán, X. A. G., Nogueira, E., Teira, and Varela, M. (2011). "Decadal variability in chlorophyll and primary production off NW Spain", *Climate Research*, 48, pp. 293-305.
- Bode, A., Álvarez-Ossorio, M. T., Cabanas, J.M., Miranda, A. and Varela, M. (2009). "Recent trends in plankton and upwelling intensity off Galicia", *Progress in oceanography*, 83, pp. 342-350.
- Calbet Albert, Landry Michael R. (2004). "Phytoplankton growth, microzooplankton grazing, and carbon cycling in marine systems", *Limnology and Oceanography*, 1
- Casas, B., Varela, M., Bode, A. (1999). "Seasonal sucesion of phytoplankton species on the coast of A Coruña (Galicia, northwest Spain)", *Bol. Inst. Esp. Oceanogr.*, 15, pp. 413-429.
- Centro Oceanográfico de A Coruña. Instituto Español de Oceanografía. (2017). *Galería de imágenes*. Disponible en: <http://www.seriestemporales-ieo.com/> [Consultado 12-06- 2017]
- Centro Oceanográfico de A Coruña. Instituto Español de Oceanografía. (2017). *Proyectos: RADIALES*. Disponible en: <http://www.co.ieo.es/mmarino/radiales.php> [Consultado 8-06-2017]
- Clarke, K.R., Gorley, R. N. (2006). *PRIMERv6: User Manual/Tutorial*. United Kingdom: PRIMER-E Ltd.
- Gonzalez-Nuevo, G., Gago, J. y Cabanas, J. M. (2014). "Upwelling index: a powerful tool for marine research in the NW Iberian upwelling system", *Journal of Operational Oceanography*, 7(1), pp. 47-57.
- Quevedo, M., Viesca, L., Anadón, R. and Fernández, E. (2003). "The protistan microzooplankton community in the oligotrophic north-eastern Atlantic: large and mesoscale patterns", *Journal of plankton research*, 25 (5), pp. 551-563.
- Quevedo, M. y Anadón, R. (2000). "Spring microzooplankton composition, biomass and potential grazing in the central Cantabrian coast (southern Bay of Biscay)", *Oceanologia*, 23 (3).
- Sieburth, J. y Smetacek, V. y Lenz, J. (1978). "Pelagic ecosystem structure: Heterotrophic compartments of the plankton and their relationship to plankton size fractions", *Limnology and Oceanography*, 23, pp. 1256-1263.
- Valdés, L., Álvarez-Ossorio, M. T. Y Miranda, A. (1992). "Composición y abundancia del microzooplancton en la plataforma continental gallega", *Thalassas*, 10, pp. 107-114.
- Valdés, L., Alvarez-Ossorio, M.T., Lavin, A., Varela, M., Carballo, R. (1991). "Ciclo anual de parámetros hidrográficos, nutrientes y plancton en la plataforma continental de La Coruña (NO, España)". *Bol. Inst. Esp. Oceanogr.*, 7, pp. 91-138.