

2020, Volumen 5, Número 2: 519-528



Dossier

“Geoquímica y perspectiva ambiental de sistemas exógenos”

Editores invitados: Eleonora Carol & Carolina Tanjal

Abundancia de nematodos marinos de vida libre en relación con las características fisicoquímicas de sedimentos experimentales y naturales

Virginia Lo Russo^{1,2}, Agustina Ferrando^{2,3,4,5}, Marta Commendatore⁴ & Catalina Pastor^{1,2}

¹Laboratorio de Meiofauna Marina. Instituto de Diversidad y Evolución Austral, Argentina. lorusso@cenpat-conicet.gob.ar; catalinapastor@gmail.com

²Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.

³Laboratorio de Química Ambiental y Ecotoxicología. Instituto de Diversidad y Evolución Austral, Argentina. ferrando@cenpat-conicet.gob.ar

⁴Laboratorio de Oceanografía Química y Contaminación de Aguas. Centro para el Estudio de Sistemas Marinos, Argentina. commenda@cenpat-conicet.gob.ar

⁵Facultad Regional Chubut, Universidad Tecnológica Nacional, Argentina.



Abundancia de nematodos marinos de vida libre en relación con las características fisicoquímicas de sedimentos experimentales y naturales

Virginia Lo Russo^{1,2}, Agustina Ferrando^{2,3,4,5}, Marta Commendatore⁴ & Catalina Pastor^{1,2}

¹Laboratorio de Meiofauna Marina. Instituto de Diversidad y Evolución Austral, Argentina. lorusso@cenpat-conicet.gov.ar; catalinapastor@gmail.com

² Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.

³Laboratorio de Química Ambiental y Ecotoxicología. Instituto de Diversidad y Evolución Austral, Argentina. ferrando@cenpat-conicet.gov.ar.

⁴Laboratorio de Oceanografía Química y Contaminación de Aguas. Centro para el Estudio de Sistemas Marinos, Argentina. commenda@cenpat-conicet.gov.ar.

⁵Facultad Regional Chubut, Universidad Tecnológica Nacional, Argentina.

RESUMEN. Los nematodos han sido ampliamente utilizados para evaluar diferentes tipos de disturbios. El objetivo de este trabajo fue comparar la abundancia de la comunidad de nematodos marinos de vida libre en condiciones *in situ* y *ex situ* con el fin de evaluar el efecto de las condiciones experimentales ensayadas en el laboratorio. Para ello, se colectaron muestras de sedimento (n=4) en 3 sitios del golfo San Jorge (GSJ) con diferente historia de contaminación y se las incubó en el laboratorio bajo condiciones controladas de luz, aire y temperatura durante 45 días. Al finalizar este período, se analizaron las muestras del tratamiento *ex situ* y se colectaron otras cuatro muestras en los sitios estudiados (*in situ*). Luego se comparó la abundancia de nematodos y las características de los sedimentos entre ambos sets de muestras. Restinga Alí y Playa Alsina mostraron un aumento de la abundancia de nematodos (más de 300% y 600%, respectivamente) en las condiciones fisicoquímicas registradas *ex situ* respecto de *in situ*, mientras que Punta Gravina presentó una disminución (menor al 40%). Los resultados mostraron un efecto de las condiciones experimentales ensayadas en el laboratorio sobre la fauna de nematodos, el cual fue más evidente en los sedimentos provenientes de sitios sin historia previa de contaminación.

Palabras clave: *Experimento, Nematoda, Golfo San Jorge, Contaminación*

ABSTRACT. **Abundance of free-living marine nematodes with regards to physico-chemical characteristics of experimental and natural sediments.** Nematodes have been widely used to evaluate different types of disturbances. The goal of this work was to compare the abundance of free-living marine nematodes communities at *in situ* and *ex situ* conditions, to assess the effect of experimental conditions in the laboratory. For this purpose, sediment samples were collected (n=4) at 3 sites in San Jorge Gulf (GSJ) with different history of pollution, and then incubated in the laboratory under controlled conditions of light, air and temperature for 45 days. At the end of this period, the *ex situ* treatment samples were analyzed, and an additional



four samples were collected at the study sites (*in situ*). We compared the abundance of nematodes and characteristics of the sediment between both sets of samples. Restinga Alí and Playa Alsina showed increased abundance of nematodes (over 300 and 600%, respectively) in *ex situ* physico-chemical conditions compared to *in situ* conditions, while Punta Gravina showed lower abundance (less than 40%). Results showed an effect of the laboratory conditions set on nematode fauna. This effect was more evident in sediments from sites that had no previous history of pollution.

Key words: *Experiment, Nematode, San Jorge Gulf, Pollution*

RESUMO. Abundância de nematódeos marinhos de vida livre em relação às características físico-químicas de sedimentos experimentais e naturais. Os nematódeos têm sido amplamente utilizados para avaliar diferentes tipos de distúrbios. O objetivo deste trabalho foi comparar a abundância da comunidade de nematódeos marinhos de vida livre em condições *in situ* e *ex situ*, a fim de avaliar o efeito de condições experimentais testadas em laboratório. Para isso, amostras de sedimentos (n = 4) foram coletadas em três localidades do golfo San Jorge (GSJ) com diferentes históricos de contaminação, e incubadas em laboratório sob condições controladas de luz, ar e temperatura por 45 dias. Ao final deste período, foram analisadas as amostras de tratamento *ex situ* e foram coletadas outras quatro nas localidades estudadas (*in situ*). Logo, se comparou a abundância de nematódeos e as características dos sedimentos entre os dois conjuntos de amostras. Restinga Alí e Playa Alsina mostraram um aumento da abundância de nematódeos (mais de 300% e 600%, respectivamente) nas condições físico-químicas registradas *ex situ* em comparação com *in situ*, enquanto Punta Gravina apresentou uma diminuição (menor que 40%). Os resultados mostraram um efeito das condições experimentais testadas em laboratório sobre a fauna de nematódeos, o qual foi mais evidente nos sedimentos provenientes de localidades sem histórico de contaminação.

Palavras-chave: *Experimento, Nematoda, Golfo San Jorge, Contaminação*

Introducción

Los organismos bentónicos cumplen un rol fundamental en el equilibrio natural del ecosistema y constituyen eslabones estratégicos en las tramas tróficas marinas. Los nematodos marinos de vida libre son el principal componente de la meiofauna bentónica (Netto *et al.*, 2005; Gambi *et al.*, 2010). Su poca movilidad y su modo de vida intersticial hacen que cualquier cambio en las condiciones ambientales genere un cambio en la estructura y composición de la comunidad (Heip *et al.*, 1985). Sus ciclos de vida van desde los 2,5 días a 18 meses, lo que permite que la respuesta a un disturbio y también su recuperación luego de finalizado el mismo, pueda verse reflejada rápidamente (Vincx & Heip, 1991). Por sus características, los nematodos han sido utilizados a nivel mundial para evaluar diferentes tipos de disturbios en la naturaleza: vertido de efluentes domésticos (Burgess *et al.*, 2005; Liu *et al.*, 2011), presencia de metales pesados o enriquecimiento orgánico (Moreno *et al.*, 2009), derrame de hidrocarburos (Ansari & Ingole, 2002), contaminación en puertos (Moreno *et al.*, 2008; Losi *et al.*, 2013) y presencia de TBT (Quang *et al.*, 2018). El uso de nematodos para estudios ecotoxicológicos ha crecido en las últimas dos décadas (Hägerbäumer *et al.*, 2015). Muchos de estos estudios se realizaron en condiciones experimentales de laboratorio (Schratzberger *et al.*, 2002; Mahmoudi *et al.*, 2005; Armenteros *et al.*, 2010; Boufahja *et al.*, 2011; Kandratavicius *et al.*, 2018) para luego extrapolar los resultados a la naturaleza ante potenciales impactos antrópicos. El problema inicial al que se enfrentan este tipo de experimentos es al “efecto del microcosmos”, el cual es producido por las condiciones experimentales ensayadas en el laboratorio. Algunos autores mencionan el riesgo que los experimentos de larga duración pueden tener sobre la biota, enmascarando los efectos del tipo de disturbio bajo estudio (Boufahja *et al.*, 2011). Sin embargo, se ha visto que para los nematodos este efecto es variable, dependiendo de la historia previa de contaminación a la cual los organismos estuvieron sometidos en la naturaleza (Mahmoudi *et al.*, 2005).

Así, en el marco de un proyecto cuyo objetivo general fue analizar la respuesta de las comunidades bentónicas en sedimentos expuestos experimentalmente a un evento de contaminación con petróleo, se planteó como un objetivo particular comparar la abundancia y distribución vertical de la comunidad de nematodos marinos de vida libre en condiciones *in situ*, respecto de aquella que estuvo sometida a ciertas condiciones experimentales en el laboratorio en ausencia del contaminante (*ex situ*). A su vez, se analizó si hubo diferencias significativas en el efecto del microcosmos en los sedimentos con y sin historia previa de contaminación.

Materiales y métodos

Área de Estudio

El golfo San Jorge (GSJ) se encuentra ubicado en la Patagonia Argentina. Es el de mayor tamaño de la costa argentina con unos 39.000 km² de superficie. Su límite exterior va desde Cabo dos Bahías (44°55'S; 65°32'O) hasta Cabo Tres Picos (47°06'S; 65°52'O) (Fig. 1). Su alta diversidad biológica lo convierte en una zona de gran importancia tanto para la explotación de especies de interés comercial como para la conservación.

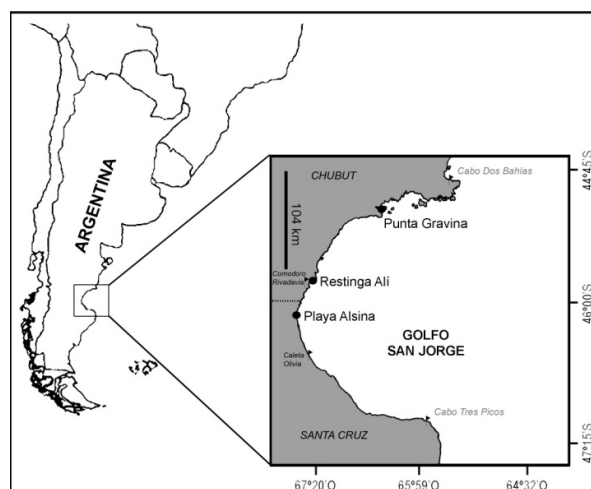


Figura 1. Sitios de muestreo localizados en el golfo San Jorge.

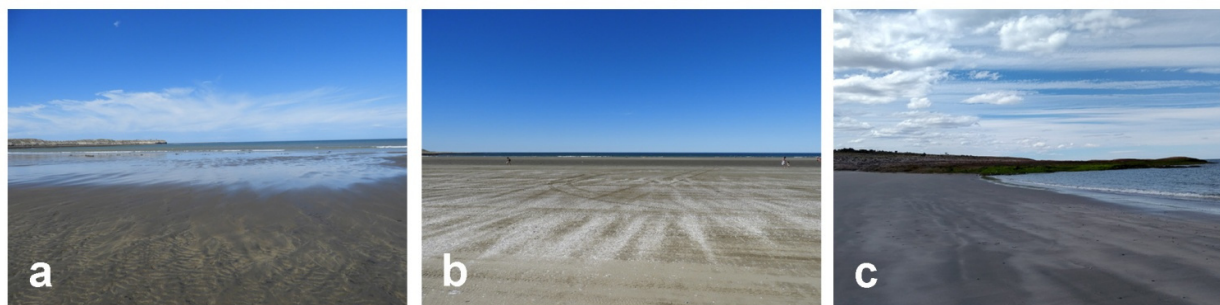


Figura 2. Sitios de muestreo: a) Restinga Ali; b) Playa Alsina; c) Playa Gravina.

Se seleccionaron 3 sitios en el GSJ: Playa Alsina (PA), Restinga Ali (RA) y Punta Gravina (PG) (Figs. 1 y 2). Los sitios se eligieron en función del conocimiento previo de acuerdo al grado de contaminación (RA > PA > PG). Particularmente, en el GSJ se ubican dos centros urbanos de gran importancia: Comodoro Rivadavia y Caleta Olivia. Además de la contaminación antrópica que generan estas ciudades, ambas tienen la particularidad de albergar Terminales Petroleras: Caleta Córdova (justo al norte de Comodoro Rivadavia) y Caleta Olivia. En

éstas el petróleo es almacenado para luego ser bombeado a los buques tanques por medio de monoboyas. En este sentido, se eligió Restinga Alí como el sitio más contaminado debido al aporte de la contaminación antrópica proveniente de Comodoro Rivadavia y a su cercanía a Caleta Córdova. Playa Alsina fue elegida como el sitio con contaminación intermedia debido a que se encuentra ubicada en el límite norte de la provincia de Santa Cruz a una distancia intermedia entre Comodoro Rivadavia y Caleta Olivia. Esta playa, si bien es muy concurrida durante la temporada estival por los habitantes de la zona, no tiene ningún centro urbano en su cercanía. Finalmente, Punta Gravina se eligió como el sitio no contaminado debido a que se encuentra ubicada dentro del Parque Interjurisdiccional Marino Costero Patagonia Austral, alejado de los centros urbanos mencionados anteriormente. En cuanto a sus características sedimentarias, los sitios seleccionados corresponden a intermareales protegidos constituidos principalmente por arena (Fig. 2a, b y c).

Muestreo y condiciones experimentales

En febrero de 2018 se colectaron en cada sitio 4 muestras de sedimento del intermareal inferior, utilizando cilindros de PVC de 16 cm (diámetro) x 20 cm (longitud). A cada uno se le colocó una malla por debajo para permitir el flujo de agua de mar a través de los sedimentos durante la incubación en el laboratorio. Para ello, cada cilindro se colocó en un acuario individual (10 litros) con aire y agua de mar del sitio (colectada al momento del muestreo) que contenía en el fondo 3 cm de sedimento inerte (tratamiento *ex situ*). Las incubaciones fueron realizadas durante 45 días a temperatura (11-13 °C), luz (fotoperiodo 12/12) y aireación controladas. Durante ese periodo, se realizaron cada 2 días las siguientes mediciones con sonda multiparámetro: pH, salinidad, oxígeno disuelto y temperatura. Al finalizar, se colectaron 4 muestras de sedimento (de igual dimensión) en cada sitio (*in situ*) con el fin de comparar la abundancia de organismos con aquella registrada en condiciones *ex situ*.

Análisis de las muestras

Las columnas sedimentarias de ambos tratamientos (*in situ* y *ex situ*) fueron fraccionadas en tres secciones: 0-2 (capa 1), 2-4 (capa 2) y 4-10 cm (capa 3). De cada capa se obtuvieron muestras para la determinación de la granulometría, el porcentaje de materia orgánica y la abundancia de nematodos marinos de vida libre.

Las muestras para granulometría y materia orgánica se colectaron del anillo externo de cada capa. Para ello se obtuvieron dos muestras compuestas, que fueron preservadas en freezer (-20°C) hasta el momento de su procesamiento.

El análisis granulométrico se realizó utilizando un analizador de tamaño de partículas Mastersizer 2000 (Sperazza *et al.*, 2004). Las medidas se tomaron en el rango entre 0,01 y 10.000 µm., bajo las siguientes condiciones: índice de refracción de partículas 1,5, índice de absorción de partículas 0,9, índice de refracción de agua 1,33 y el modelo Propósito General. Cada muestra fue sonicada por 2 minutos para separar las partículas y se utilizó una velocidad de bombeo de 1500 rpm.

Para la determinación del porcentaje de materia orgánica en los sedimentos, las muestras se secaron en estufa a 100°C por 24 hs (peso seco). Luego se homogeneizó el sedimento y se colectó una submuestra de aproximadamente 2 gramos, la cual se calcinó en mufla por 4 horas a 450°C (peso calcinado). En base a la diferencia entre el peso seco y el peso calcinado se calculó el porcentaje de materia orgánica (%MO).

Las muestras biológicas se colectaron en el centro de cada capa (para evitar el efecto de borde) con un corer de 2,8 cm de diámetro interno. Inmediatamente fueron fijadas en formol al 5% preparado con agua de mar filtrada y teñido con colorante Rosa de Bengala. La extracción de los nematodos del sedimento se realizó utilizando el método de decantación con LudoxTM. Las muestras se pasan por dos tamices, uno de 500 µm (que retiene la macrofauna) sobre otro de 62 µm (que retiene la meiofauna). Lo retenido en este último tamiz se coloca en un vaso de precipitado al cual se le agrega LudoxTM y se agita hasta obtener toda la muestra en

suspensión. Luego de 40 minutos, el sedimento decanta y la meiofauna (y por lo tanto los nematodos) queda retenida en el sobrenadante. Este sobrenadante se tamiza y el tamiz se lava en cápsulas de Petri con fijador (Ditlevsen, 1911). La operación con Ludox™ se repite 5 veces con cada réplica. Posteriormente, las cápsulas se colocan en un desecador para que los organismos queden embebidos en glicerina pura. La cuantificación de los nematodos se realizó bajo lupa estereoscópica. En el caso de las réplicas que tenían hasta 300 individuos se realizó el conteo total. Para las réplicas con más organismos, se tomaron alícuotas en las cuales se contó el número total de individuos. Posteriormente, se promediaron estos valores y se extrapoló el resultado al volumen total de la réplica.

Análisis estadísticos

Se evaluaron las diferencias registradas en las fracciones de sedimento, el contenido de materia orgánica y la abundancia de nematodos entre las condiciones *in situ* y *ex situ* por sitio y capa. Estas diferencias fueron testeadas mediante un análisis de la varianza no paramétrico (Kruskal-Wallis) (InfoStat) de cada sitio por separado. Este análisis se realizó con los datos sin transformar, considerando 2 factores: tratamiento (2 niveles) y capa (3 niveles). A continuación, se aplicaron los contrastes SNK para todas las combinaciones posibles.

Resultados

Todas las variables ambientales registradas en el agua de mar de los experimentos *ex situ* se mantuvieron estables a lo largo del mismo y sus valores fueron similares a aquellos registrados en la naturaleza (*in situ*) (Tabla 1).

Tabla 1. Valores de temperatura (T), Oxígeno Disuelto (DO), Salinidad (Sal) y Ph registrados en el agua de mar, por cada sitio y tratamiento. Para el tratamiento *in situ* se muestran los valores al inicio y final del experimento. Para el tratamiento *ex situ* se muestran el mínimo (Mín), máximo (Máx), la media y el desvío estándar (DE).

Sitio	Tratamiento		T (°C)	DO (mg/L)	Sal (‰)	Ph
RA	<i>in situ</i>	Inicio	17,80	8,05	33,36	8,12
		Final	13,50	6,85	49,10	8,10
	<i>ex situ</i>	Mín	11,40	7,89	30,04	7,69
		Máx	13,40	9,07	36,50	8,21
		Media	12,53	8,49	33,77	8,03
		DE	0,48	0,22	0,98	0,09
PA	<i>in situ</i>	Inicio	15,50	8,24	33,46	8,05
		Final	14,00	7,03	49,00	8,20
	<i>ex situ</i>	Mín	11,70	6,99	31,69	7,75
		Máx	13,80	8,96	37,10	8,20
		Media	12,61	8,35	34,13	8,01
		DE	0,40	0,36	1,02	0,10
PG	<i>in situ</i>	Inicio	18,60	8,26	33,91	8,06
		Final	14,70	9,47	33,26	8,00
	<i>ex situ</i>	Mín	11,40	7,74	31,26	7,81
		Máx	13,20	9,00	35,99	8,23
		Media	12,53	8,42	33,80	8,05
		DE	0,45	0,25	0,92	0,09

El análisis granulométrico mostró para los 3 sitios un predominio de la fracción arena (muy fina, fina y media) representada en todos los casos por más del 80% del total (Tabla 2).

En RA las diferencias registradas entre tratamientos (*in situ* y *ex situ*) por capa fueron no significativas en todos los casos ($p > 0,05$) (Tabla 2). A su vez, RA fue el sitio con mayor proporción de sedimento fino (limo y arcilla). En PA todas las fracciones de sedimento excepto la “arena fina”, presentaron diferencias significativas entre tratamientos por capa. La fracción fina (arcilla + limo) presentó diferencias, donde el tratamiento *in situ* tuvo para las 3 capas de sedimento un porcentaje mayor que en las condiciones *ex situ*, las cuales fueron significativas sólo para las capas 2 y 3 ($p < 0,05$) (Tabla 2). Por su parte, PG no mostró diferencias significativas en las fracciones “limo grueso” y “arena fina” entre tratamientos por capa mientras que sí hubo diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$) en las fracciones “arena muy fina” (capas 1 y 2), “arena media” (capas 1 y 3) y “arena gruesa” (capa 1). Al igual que en PA, la fracción fina tuvo un porcentaje mayor en el tratamiento *in situ* que en el *ex situ* pero las diferencias sólo fueron significativas en la capa 2 ($p < 0,05$) (Tabla 2).

Tabla 2. Valores porcentuales de las diferentes fracciones del sedimento y contenido de materia orgánica (%MO) para cada sitio por capa. Para el caso de las fracciones sedimentarias, los valores en negrita indican diferencias significativas ($p < 0,05$) en el porcentaje de la fracción correspondiente, entre tratamientos (*in situ*: IN) y (*ex situ*: EX) para un mismo sitio y capa. RA: Restinga Alí, PA: Playa Alsina; PG: Punta Gravina.

Sitio	Capa	Tratamiento	Fracción fina (arcilla + limo)	Limo grueso	Arena muy fina	Arena fina	Arena media	Arena gruesa	%MO
RA	1	IN	11,17	6,74	39,82	33,48	8,25	0,55	1,06
		EX	8,69	2,75	37,78	42,14	7,38	1,25	0,68
	2	IN	9,63	3,50	25,06	36,38	22,39	3,03	1,13
		EX	8,08	2,45	32,34	38,30	14,85	3,97	0,63
	3	IN	13,06	2,56	21,74	38,71	21,65	2,28	1,19
		EX	8,02	2,08	30,12	40,08	15,26	4,45	0,54
PA	1	IN	4,28	3,38	35,00	46,47	10,87	0,00	0,53
		EX	1,39	1,20	25,48	47,88	22,23	1,82	0,38
	2	IN	4,06	2,05	28,98	48,40	16,42	0,08	0,64
		EX	0,41	0,72	15,65	37,00	34,71	11,51	0,39
	3	IN	4,70	2,12	29,21	48,43	15,53	0,00	0,62
		EX	0,75	0,20	16,30	44,48	30,42	7,83	0,42
PG	1	IN	3,14	0,31	22,95	42,43	21,32	9,85	0,64
		EX	2,29	0,57	32,57	55,41	9,04	0,12	0,52
	2	IN	4,28	0,12	18,10	46,24	23,61	7,66	0,70
		EX	1,56	0,37	27,46	50,55	16,20	3,85	0,57
	3	IN	5,58	0,13	25,08	57,33	11,12	0,75	0,60
		EX	3,31	0,13	18,89	50,98	22,47	4,23	0,52

El porcentaje de materia orgánica registrado en los sedimentos *in situ* fue significativamente mayor que en los sedimentos *ex situ* en todos los sitios ($p < 0,05$) (Fig. 3, Tabla 2). Contrariamente, las diferencias registradas por capa para un mismo sitio y tratamiento fueron no significativas en todos los casos ($p > 0,05$). Al comparar dentro de cada sitio las diferencias registradas para la misma capa entre tratamientos, se observó que para RA estas diferencias fueron significativas ($p < 0,05$) en las capas 2 y 3, para PA solo en la capa 2 y para PG, en la capa 1 (Fig. 3).

En base a los análisis estadísticos realizados con los datos de abundancia registrados en los sedimentos *in situ* y *ex situ* pudieron observarse diferentes patrones. En los 3 sitios hubo diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$). Particularmente, en los sitios RA y PA la abundancia de nematodos se incrementó en las tres capas en el tratamiento *ex situ* respecto del *in situ*, mientras que en PG sucedió en forma inversa. Comparando los porcentajes de estas variaciones, se observó que RA y PA presentaron, teniendo en cuenta las 3 capas, más de un 300% y 600% de incremento, respectivamente. Por su parte, si bien en PG se registró una

disminución de la abundancia en condiciones *ex situ*, ésta fue menor al 40% (Tabla 3). Dentro de cada sitio, cada tratamiento presentó la mayor abundancia promedio de nematodos en la capa 3 (Tabla 3, Fig. 3). En RA y PA, las muestras *in situ* tuvieron una abundancia menor que las *ex situ*. Sin embargo, esta diferencia fue sólo significativa en las capas 1 y 3 ($p < 0,05$). Por el contrario, en PG las muestras *in situ* tuvieron mayor abundancia que las *ex situ* pero esta diferencia solo fue significativa en la capa 1 ($p < 0,05$) (Tabla 3, Fig. 3).

Tabla 3. Valores de abundancia de nematodos ($\text{indx } 10\text{cm}^{-2}$) por sitio (RA: Restinga Alí, PA: Playa Alsina; PG: Punta Gravina), capa y tratamiento (*in situ*: IN y *ex situ*: EX), Δ (%): Porcentaje de variación de la abundancia entre los tratamientos.

Capa	RA			PA			PG		
	IN	EX	Δ (%)	IN	EX	Δ (%)	IN	EX	Δ (%)
1	120,33	424,80	253,04	19,92	79,27	297,96	556,91	209,35	-62,41
2	58,13	86,99	49,65	37,80	114,63	203,23	86,59	71,95	-16,90
3	191,06	1015,45	431,49	226,02	1872,76	728,60	6355,28	4023,17	-36,70
Total	369,51	1527,24	313,31	283,74	2066,67	628,37	6998,78	4304,47	-38,50

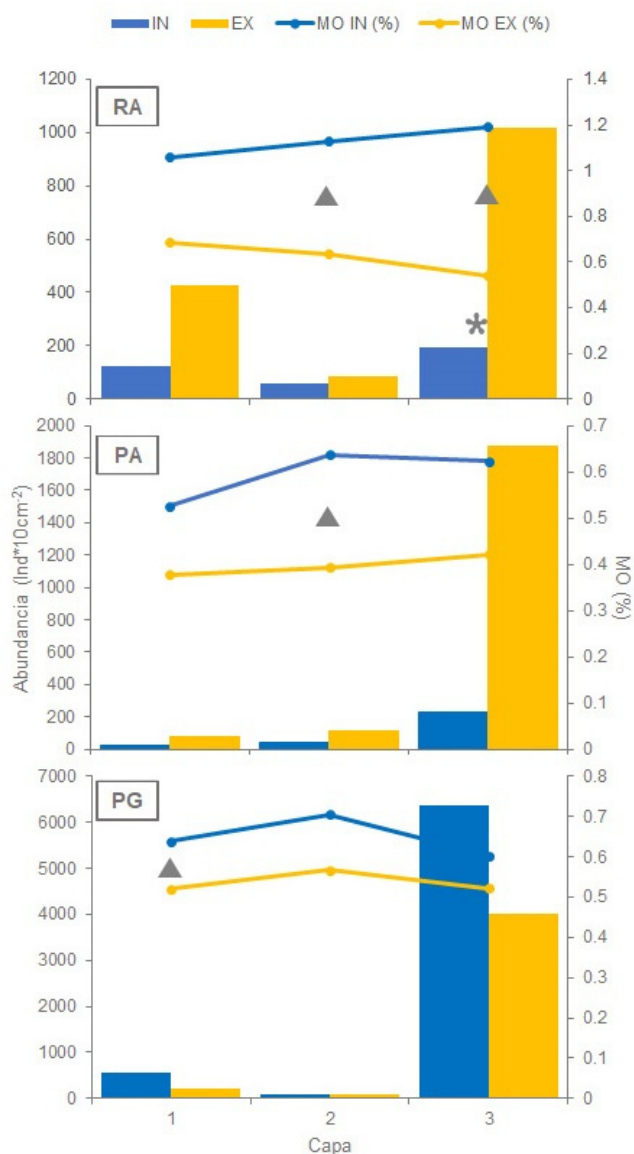


Figura 3. Abundancia de nematodos (columnas) y porcentaje de materia orgánica (líneas) para cada sitio por capa. Las diferencias significativas para un mismo sitio y capa están señaladas con asterisco (abundancia de nematodos) o triángulos (porcentaje de materia orgánica), RA: Restinga Alí; PA: Playa Alsina; PG: Punta Gravina; IN: *in situ*; EX: *ex situ*.

Discusión

Los resultados de este trabajo mostraron un efecto de las condiciones experimentales ensayadas en el laboratorio sobre la abundancia de nematodos marinos de vida libre indicando un posible efecto del microcosmos. Si bien a lo largo de los 45 días de incubación en el laboratorio, las condiciones de luz y temperatura en la naturaleza variaron, el fotoperiodo y la temperatura promedio fueron 13/11 y 17°C, respectivamente. Por lo tanto, las condiciones ambientales entre ambos tratamientos (*in situ* y *ex situ*) fueron similares, lo que permitió una mejor comparación entre los datos biológicos registrados por sitio y capa de sedimento.

Respecto de las variables físicas, el análisis granulométrico confirmó que los tres sitios presentan características similares en cuanto al tamaño medio de partícula. La fracción fina, por su parte, fue mayor en RA y similar en PA y PG. Se ha visto que para los nematodos una pequeña variación en la composición sedimentaria puede acarrear diferencias en la estructura comunitaria (Semprucci *et al.*, 2010). Incluso entre sedimentos que tengan igual tamaño medio de partícula, si al considerar todas las fracciones sedimentarias posibles existen diferencias, éstas pueden afectar a los nematodos (Semprucci *et al.*, 2010). En este estudio, RA fue el único sitio que no presentó diferencias significativas en el análisis granulométrico de los sedimentos *in situ* y *ex situ*, y sin embargo sí tuvo diferencias significativas en la abundancia de nematodos registrada en la capa 3. Particularmente, las diferencias mencionadas en el trabajo de Semprucci *et al.* (2010) se han registrado a nivel de la estructura comunitaria y no de la abundancia. Esto explicaría por qué en nuestro trabajo se registraron diferencias en abundancia a pesar de que la composición granulométrica fue similar entre ambos tratamientos.

Los valores de materia orgánica registrados en este estudio fueron bajos en todos los sitios, tratamientos y capas (<1,19%). Tanto en las condiciones *in situ* como en las *ex situ*, los valores de oxígeno disuelto registrados en el agua de mar indicaron que la calidad de la misma era muy buena (Rosenberg *et al.*, 1991). Por lo tanto, es válido inferir que la oxigenación de los sedimentos fue adecuada (lo cual se comprobó al hacer los cortes de las columnas sedimentarias y no encontrar zonas anóxicas). Ante esta condición, la degradación de la materia orgánica se ve favorecida por las bacterias aeróbicas que habitan en los sedimentos (Jessen *et al.*, 2017). Particularmente, el porcentaje de materia orgánica registrado *in situ* fue mayor al *ex situ* en todos los casos. En el laboratorio las muestras fueron incubadas en sistemas de circulación cerrada por lo que no hubo ingreso de materia orgánica, pero sí consumo. Dado que los nematodos marinos son los alimentadores de depósito más abundantes dentro del meiobentos, juegan un rol clave en la transformación de la materia orgánica en sedimentos marinos (Armenteros *et al.*, 2010 y citas allí). Esto podría explicar la mayor abundancia de nematodos que fue registrada en algunos sitios en condiciones *ex situ* y la disminución del porcentaje de materia orgánica en los mismos.

En ambos tratamientos la abundancia de nematodos para los tres sitios fue menor en las capas superiores (hasta los 4 cm de profundidad) y mayor en profundidad (de 4 a 10 cm). Si bien hay que tener en cuenta que las capas 1 y 2 abarcan cada una 2 cm de altura mientras que la capa 3 es de 6 cm, la abundancia de nematodos en esta última era esperable que fuera equivalente a la registrada en de las dos primeras, ya que estos organismos suelen presentar una mayor abundancia en los primeros 5 cm de profundidad de la columna sedimentaria decreciendo abruptamente en profundidad. El hecho de que el patrón de distribución vertical encontrado en ambos tratamientos fue similar en todos los sitios, puede resultar contradictorio si se tienen en cuenta las condiciones ambientales diferentes a las que estaban sometidas las muestras en cada caso. Las muestras del tratamiento *in situ* fueron colectadas al momento de descubrirse el intermareal inferior, mientras que las del tratamiento *ex situ* estuvieron permanentemente cubiertas de agua en el laboratorio. Estas similitudes podrían deberse a que en ambos casos las columnas de sedimento fueron fraccionadas luego de un tiempo de ser colectadas (en el caso de las *in situ*) o retiradas del experimento (en las *ex situ*), lo que pudo originar una migración vertical de los organismos hacia las zonas más profundas. Esta migración podría deberse a que los

nematodos siguieron activamente la tabla de agua mientras descendía. Además, lo que puede haber sucedido es una migración pasiva de los organismos debido al efecto de arrastre que pueda haber tenido el agua al descender. Se han observado movimientos verticales de nematodos en la naturaleza de 5cm en menos de 30 minutos (Maria *et al.*, 2012). Un estudio posterior de las especies de nematodos podrá ayudar a interpretar si los individuos presentes en las capas inferiores forman parte de la comunidad superficial o es una comunidad diferente que vive adaptada a esa profundidad.

La comparación de las playas estudiadas mostró que RA y PA presentaron un aumento en la abundancia de nematodos en las condiciones experimentales ensayadas en el laboratorio mientras que PG tuvo el comportamiento inverso. Podemos inferir que la fauna de sitios contaminados, ya adaptada a condiciones de estrés, es más tolerante al estrés inicial del paso a condiciones experimentales e incluso llega a verse favorecida por las condiciones más estables del laboratorio respecto de las de la naturaleza. Por el contrario, la fauna de sitios sin signos de contaminación, como PG, podría sufrir el estrés en mayor medida y, por lo tanto, verse perjudicada en condiciones experimentales de laboratorio.

Conclusión

En este trabajo se registró un efecto de las condiciones experimentales ensayadas en el laboratorio ("efecto del microcosmos"). Las diferencias encontradas radican en que, por un lado, las condiciones de aire y temperatura son más variables en la naturaleza que en el laboratorio. Por otro lado, al tratarse de muestras colectadas en el intermareal inferior de las playas, en la naturaleza éstas se encontrarían sujetas a los efectos de las mareas, mientras que en el laboratorio fueron incubadas en sistemas de circulación cerrada cubiertas continuamente por agua. La fauna proveniente de sitios muy contaminados (RA) o moderadamente contaminados (PA), se vio favorecida en las condiciones experimentales ensayadas en el laboratorio. Por el contrario, la fauna proveniente del sitio sin signos de contaminación (PG), presentó una disminución en la abundancia de nematodos bajo dichas condiciones. Si bien el efecto del microcosmos fue evidente en los tres sitios, su magnitud no fue tal que impida evidenciar luego el efecto a evaluar en el caso de un experimento de ecotoxicología. Se prevé realizar la identificación de organismos bioindicadores de enriquecimiento orgánico, lo cual permitirá contar con una herramienta en futuros ensayos ecotoxicológicos con petróleo o algún otro contaminante orgánico, o bien en la caracterización de ambientes perturbados.

Agradecimientos

Las autoras agradecen a Marcos Franco y Ornella Romanut por su colaboración en la preparación y realización de las campañas. También a Javier Tolosano, director del Instituto de Desarrollo Costero Dr. Héctor Zaixso de la UNPSJB y a su equipo, y a Matías Soriano de Bahía Bustamante, por brindarnos las instalaciones para el procesamiento de las muestras.

Referencias bibliográficas

- Ansari, Z.A. & Ingole, B. (2002) "Effect of an oil spill from *M V Sea Transporter* on intertidal meiofauna at Goa, India", *Marine Pollution Bulletin* 44, pp. 396-402.
- Armenteros, M., Pérez-García, J.A., Ruiz-Abierno, A., Díaz-Asencio, L., Helguera, Y., Vincx, M. & Decraemer, W. (2010) "Effects of organic enrichment on nematode assemblages in a microcosm experiment", *Marine Environmental Research* 70, pp. 374- 382.
- Boufahja, F., Hedfi, A., Amorri, J., Aïssa, P., Beyrem, H. & Mahmoudi, E. (2011) "An Assessment of the Impact of Chromium-Amended Sediment on a Marine Nematode Assemblage Using Microcosm Bioassays", *Biological Trace Element Research* 142, pp. 242-255.

- Burgess, R., Sharma, J., Carr, R.S. & Montagna, P. (2005) "Assessment of storm water outfalls in Corpus Christi Bay, Texas, USA using meiofauna", *Meiofauna Marina* 14, pp. 157-169.
- Ditlevsen, H. (1911) "Danish freliving nematodes", *Videnskabelige Meddelelserfra Dansknaturhistorik Forening* 63, pp. 213-256.
- Gambi, C., Lampadariou, N. & Danovaro, R. (2010) "Latitudinal, longitudinal and bathymetric patterns of abundance, biomass of metazoan meiofauna: importance of the rare taxa and anomalies in the deep Mediterranean Sea", *Advances in Oceanography and Limnology* 1, pp. 167-197.
- Hägerbäumler, A., Höss, S., Heininger, P. & Traunspurger, W. (2015) "Experimental studies with nematodes in ecotoxicology: an overview", *Journal of nematology* 47, pp. 11-27.
- Heip, C., Vincx, M. & Vranken, G. (1985) "The Ecology of Marine Nematodes", *Oceanography and Marine Biology: Annual Review* 23, pp. 399-489.
- Jessen, G.L., Lichtschlag, A., Ramette, A., Pantoja, S., Rossel, P.E., Schubert, C.J., Struck, U. & Boetius, A. (2017) "Hypoxia causes preservation of labile organic matter and changes seafloor microbial community composition (Black Sea)", *Science Advances* 3(2), e1601897.
- Kandratavicius, N., Pastor de Ward, C., Venturini, N., Giménez, L., Rodriguez, M. & Muniz, P. (2018) "Response of estuarine free-living nematode assemblages to organic enrichment: an experimental approach", *Marine Ecology Progress Series* 602, pp. 117-133.
- Liu, X.S., Xu, W.Z., Cheung, S.G. & Shin, P.K.S. (2011) "Marine meiobenthic and nematode community structure in Victoria Harbour, Hong Kong upon recovery from sewage pollution", *Marine Pollution Bulletin* 63, pp. 318-325.
- Losi, V., Ferrero, T.J., Moreno, M., Gaozza, L., Rovere, A., Firpo, M., Marques, J.C. & Albertelli, G. (2013) "The use of nematodes in assessing ecological conditions in shallow waters surrounding a Mediterranean harbour facility", *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 130, pp. 209-221.
- Mahmoudi, E., Essid, N., Beyrem, H., Hedfi, A., Boufahja, F., Vitiello, P. & Aissa, P. (2005) "Effects of hydrocarbon contamination on a free living marine nematode community: Results from microcosm experiments", *Marine Pollution Bulletin* 50, pp. 1197-1204.
- Maria, T.F., Vanaverbeke, J., Esteves, A.M., DE Troch, M. & Vanreusel, A. (2012) "The importance of biological interactions for the vertical distribution of nematodes in a temperate ultra-dissipative sandy beach", *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 97, pp. 114-126.
- Moreno, M., Albertelli, G. & Fabiano, M. (2009) "Nematode response to metal, PAHs and organic enrichment in tourist marinas of the mediterranean sea", *Marine Pollution Bulletin* 58, pp. 1192-1201.
- Moreno, M., Ferrero, T.J., Gallizia, I., Vezzulli, L., Albertelli, G. & Fabiano, M. (2008) "An assessment of the spatial heterogeneity of environmental disturbance within an enclosed harbour through the analysis of meiofauna and nematode assemblages", *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 77, pp. 565-576.
- Netto, S.A., Gallucci, F. & Fonseca, G.F.C. (2005) "Meiofauna communities of continental slope and deep-sea sites off SE Brazil", *Deep-Sea Research I* 52, pp. 845-859.
- Quang, N.X., Yen, N.T.M., Van Dong, N., Prozorova, L., Smol, N., Lins, L. & Vanreusel, A. (2018) "Nematode communities in the Sai Gon River harbors in relation to tributyltin concentrations", *Marine Biodiversity* 48, pp. 139-151.
- Rosenberg, R., Hellman B. & Johansson B. (1991) "Hypoxic tolerance of marine benthic fauna", *Marine Ecology Progress Series* 79, pp. 127-131.
- Schratzberger, M., Wall, C.M., Reynolds, W.J., Reed, J. & Waldoock, M.J. (2002) "Effects of paint-derived tributyltin on structure of estuarine nematode assemblages in experimental microcosms", *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 272, pp. 217-235.
- Semprucci, F., Colantoni, P., Baldelli, G., Rocchi, M. & Balsamo, M. (2010) "The distribution of meiofauna on back-reef sandy platforms in the Maldives (Indian Ocean)", *Marine Ecology* 31, pp. 592-607.
- Sperazza, M., Moore, J.N. & Hendrix, M.S. (2004) "High-Resolution Particle Size Analysis of Naturally Occurring Very Fine-Grained Sediment Through Laser Diffraction", *Journal of Sedimentary Research* 74, pp. 736-743.
- Vincx, M. & Heip, C. (1991) "The use of meiobenthos in pollution monitoring studies: a review", *Benthic Communities: Use in Monitoring Point-source Discharges. ICES Techniques in Marine Environmental Science* 16, pp. 50-67.