

# Patrones de distribución espacial y estructura de la comunidad de nematodos costeros de la bahía de Chetumal, México

## Spatial distribution patterns and community structure of the coastal nematodes from Chetumal Bay, Mexico

Alberto de Jesús-Navarrete\*

anavarre@ecosur.mx

0000-0002-6581-3761

Abel Abraham Vargas-Espósitos

abel.vargas@ecosur.mx

0000-0003-3266-6731

1. Departamento de Sistemática y Ecología Acuática, El Colegio de la Frontera Sur, Unidad Chetumal.

\* Corresponding author:

Recibido / Received: 11/09/2025

Aceptado / Accepted: 17/05/2025

Citación / Citation: Navarrete, A.J.; Vargas-Espósitos, A.A. 2026. Patrones de distribución espacial y estructura de la comunidad de nematodos costeros de la bahía de Chetumal, México. Bol. Invest. Mar. Cost., 55(2): 27-45.

### RESUMEN

Se analizó la distribución y composición de los nemátodos costeros en la bahía de Chetumal. Se recolectaron sedimentos en seis sitios por duplicado. Los nemátodos se identificaron al nivel más bajo posible y se clasificaron en grupos tróficos y categorías de estrategia de vida. Se determinó el Índice de Diversidad Trófica y el Índice de Madurez. En el agua se registraron la temperatura, la salinidad y el oxígeno disuelto, y en el sedimento se determinó el tamaño de grano y la concentración de clorofila *a*. Se encontraron siete órdenes, 18 familias, 42 géneros y 56 especies. Las familias Desmodoridae y Xyalidae fueron las más diversas. *Anoplostoma* sp. fue la especie más abundante, mientras que *Stylotheristus* sp. fue la mejor distribuida. La composición específica varió significativamente entre sitios y la comunidad estuvo influenciada por el oxígeno disuelto y el tamaño de grano. La diversidad de nemátodos fue baja en sitios cercanos a la ciudad de Chetumal, mientras que los valores más altos se encontraron cerca del mar Caribe. De acuerdo con el ITD y el MI, los sitios cercanos a la ciudad mostraron condiciones ambientales de malas a moderadas, mientras que los cercanos al mar Caribe mostraron condiciones muy buenas.

**PALABRAS CLAVE:** Caribe, estuarios, oxígeno disuelto, sedimentos, zona costera.

### ABSTRACT

The distribution and composition of coastal nematodes in Chetumal Bay were analyzed. Sediment samples were collected in duplicate from six sites. Nematodes were identified to the lowest possible level and classified into trophic groups and life strategy categories. The Trophic Diversity Index and Maturity Index were determined. Water temperature, salinity, and dissolved oxygen were recorded, while sediment grain size and chlorophyll *a* concentration were determined. Seven orders, 18 families, 42 genera, and 56 species were found. The Desmodoridae and Xyalidae families were the most diverse, respectively. *Anoplostoma* sp. was the most abundant species, while *Stylotheristus* sp. was the most widely distributed. Species composition varied significantly among sites, and the community was influenced by dissolved oxygen and grain size. Nematode diversity was low at sites near the city of Chetumal, while the highest values were found near the Caribbean Sea. According to the ITD and MI, sites near the city showed poor to moderate environmental conditions, while those near the Caribbean Sea showed very good conditions.

**KEYWORDS:** Caribbean, estuaries, dissolved oxygen, sediments, coastal zone.

## INTRODUCCIÓN

Los estuarios y lagunas costeras están considerados entre los ambientes biológicos más productivos y diversos del mundo (McLusky y Elliot, 2004; Day *et al.*, 2012; Sroczyńska *et al.*, 2021a). Esos ambientes se usan para la reproducción, crecimiento y refugio por muchas especies marinas y de agua dulce (McLusky y Elliot, 2004; Elliot *et al.*, 2019; Pareja-Roman *et al.*, 2023). Se han definido como sistemas complejos debido a la interacción de procesos fisicoquímicos y biológicos a diferentes escalas temporales y espaciales (Séller y Causey, 2005; Semprucci *et al.*, 2014; Elliot *et al.*, 2019).

La productividad en los estuarios se debe en gran parte a los subsidios energéticos y al proceso dinámico de materia orgánica en los sedimentos (McLusky y Elliot, 2004; Day *et al.*, 2012; Pareja-Roman *et al.*, 2023). Las comunidades microbianas remineralizan la materia orgánica, haciéndola disponible para otros niveles tróficos (Majdi *et al.*, 2020). La contribución de la meiofauna es muy importante porque muchos de sus miembros se alimentan de microbios y materia orgánica (Moens *et al.*, 2013; Buys *et al.*, 2021). Los nemátodos generalmente representan sobre 90% de la fauna meiobéntica y son muy eficientes debido a una partición de los tipos de alimentación en la comunidad (Platt y Warwick, 1980; Boucher y Lamshead, 1995; Semprucci *et al.*, 2014; Sroczyńska *et al.*, 2021a).

El estudio de los nemátodos en el norte del golfo de México y en las islas del Caribe ha sido principalmente taxonómico (Chitwood y Timm, 1954; Hopper, 1961; Hopper y Cefalu, 1973; Jensen, 1985; Goubault y Decramer, 1986; Keppner, 1986; Castillo-Fernández y Lamshead, 1990). Sin embargo, las investigaciones en ambientes estuarinos son prácticamente nulas, por lo que es importante conocer cómo este grupo de organismos está distribuido en las diferentes secciones del estuario.

En la sonda de Campeche, de Jesús-Navarrete (1993a) determinó la distribución, abundancia y diversidad de los nemátodos y su relación con los hidrocarburos de petróleo. En el Caribe mexicano, se han realizado algunos estudios en la laguna de Bacalar y la bahía de Chetumal (de Jesús-Navarrete, 1993b; de Jesús-Navarrete y Herrera-Gómez, 2002; de Jesús-Navarrete y Góngora, 2008; de Jesús-Navarrete y Álvarez-Legorreta, 2022; de Jesús-Navarrete y Vargas-Espósitos, 2026). En este contexto la composición y diversidad de los nemátodos en la bahía de Chetumal se ha

## INTRODUCTION

Estuaries and coastal lagoons are considered among the most productive and biologically diverse environments of the world (McLusky and Elliot, 2004; Day *et al.*, 2012; Sroczyńska *et al.*, 2021a). These environments are used for reproduction, growth and refuge for many marine, estuarine, and freshwater species (McLusky and Elliot, 2004; Elliot *et al.*, 2019; Pareja-Roman *et al.*, 2023). They have been defined as complex systems because of the interaction between biological and physical-chemical processes, regulated at different temporal and spatial scales (Séller and Causey, 2005; Semprucci *et al.*, 2014; Elliot *et al.*, 2019).

Productivity in estuaries is due in great part to energy subsidies and to the dynamic process of organic matter in sediments (McLusky and Elliot, 2004; Day *et al.*, 2012; Pareja-Roman *et al.*, 2023). Microbial communities re-mineralize organic matter, making it available to other trophic levels (Majdi *et al.*, 2020). The contribution of meiofauna is very important because many of their members feed on microbes and organic matter (Moens *et al.*, 2013; Buys *et al.*, 2021).

Nematodes generally represent over 90% of the benthic meiofauna, and they are highly efficient due to the partition of feeding types in the community (Platt and Warwick, 1980; Boucher and Lamshead, 1995; Semprucci *et al.*, 2014; Sroczyńska *et al.*, 2021a). The study of nematodes in the north Gulf of Mexico and the Caribbean islands has been mainly taxonomic (Chitwood and Timm, 1954; Hopper, 1961; Hopper and Cefalu, 1973; Jensen, 1985; Goubault and Decramer, 1986; Keppner, 1986; Castillo-Fernández and Lamshead, 1990). However, investigations in mixing environments are practically null, but it is important to know how this group is distributed in the different sections of the estuary.

In the Campeche Sound, de Jesús-Navarrete (1993a) determined the distribution, abundance, and diversity of the nematodes and their relationship with oil hydrocarbons. In Mexican Caribbean, some studies have been carried out in the Bacalar Lake and Chetumal Bay (de Jesús-Navarrete, 1993b; de Jesús-Navarrete and Herrera-Gómez, 2002; de Jesús-Navarrete and Góngora, 2008; de Jesús-Navarrete and Álvarez-Legorreta, 2022; de Jesús-Navarrete and Vargas-Espósitos, 2026). In this context, nematode composition and diversity in Chetumal Bay have been studied previously (de Jesús-Navarrete and Góngora, 2008), showing evidence that the nematode community could be related to a

investigado previamente (de Jesús-Navarrete y Góngora, 2008), mostrando evidencia que los nemátodos podrían estar relacionados con un gradiente salino como en otros sistemas estuarinos (Adão *et al.*, 2009; Milovankina y Fadeeva, 2019; Baia *et al.*, 2021). No obstante, otros estudios han registrado que la salinidad no juega un papel significativo en la distribución y abundancia comparado con otros factores en la columna de agua y sedimentos (Udalov *et al.*, 2005; Sroczyńska *et al.*, 2021b). Además, la bahía de Chetumal carece de estudios con mayor resolución taxonómica (especies) y análisis de características funcionales (grupos tróficos y estrategia de vida), que proporcionen información útil sobre el estado de la zona costera de la región, que está bajo constante descarga de aguas residuales. El presente trabajo tiene como objetivos: 1) determinar la distribución espacial de los nemátodos y evaluar la estructura de la comunidad y 2) contribuir a la información sobre los nemátodos a nivel de especie y a los atributos funcionales (grupos tróficos y estrategia de vida). La hipótesis para demostrar es que los nemátodos tienen diferentes estructuras según un gradiente salino en los sitios costeros de la bahía de Chetumal.

## AREA DE ESTUDIO

La bahía de Chetumal es uno de los sistemas costeros más grandes localizados en el estado de Quintana Roo, México (Figura 1). Es un cuerpo de agua semicerrado conectado con el mar Caribe en su porción sureste, lo que supone un intercambio de agua restringido con este cuerpo de agua (Carrillo *et al.*, 2009; Avalos-Cueva *et al.*, 2017). Recibe numerosos tributarios de agua dulce, como el río Hondo, Laguna Guerrero, la laguna Shipstein en la frontera con Belice (Carrillo *et al.*, 2009). Tiene una profundidad promedio de 3.28 m con condiciones micro mareales (<0.2 m), con una dinámica en el sistema controlada principalmente por el viento (Ortiz-Hernández y Sáenz-Morales, 1999; Carrillo *et al.*, 2009).

## MATERIALES Y METODOS

### Muestreo

Seis sitios costeros de la bahía de Chetumal fueron seleccionados los días 23 y 24 de abril de 2019 en diferentes horarios (de 7:00 a 17:00 PM). Los sitios se seleccionaron teniendo en cuenta un gradiente de salinidad siguiendo a Carrillo *et al.* (2009): baja salinidad (<10 UPS), 1) Río Creek (RC), y 2) La Barra (LB), salinidad media (11 a 18 UPS), 3) Megaescultura, (ME), 4) Punta

salinity gradient, as in other estuarine systems (Adão *et al.*, 2009; Milovankina and Fadeeva, 2019; Baia *et al.*, 2021). However, other studies have reported that salinity does not play a significant role in nematode distribution and abundance compared to other factors in the water column and sediments (Udalov *et al.*, 2005; Sroczyńska *et al.*, 2021b). Furthermore, Chetumal Bay lacks studies with higher taxonomic resolution (species) and analyses of functional characteristics (trophic groups and life strategy), which will provide useful information on the state of the coastal area of region that is under constant discharge of wastewater. The present work aims: 1) to determine the spatial nematode distribution and evaluate the community structure and 2) to contribute to nematode information at the species level and functional attributes (trophic groups and life strategy). The hypothesis to prove is that nematodes have different structures according to a saline gradient at coastal sites of Chetumal Bay.

## STUDY AREA

Chetumal Bay is one of the greatest coastal aquatic systems located in the state of Quintana Roo, Mexico (Figure 1). It is a semi-enclosed body of water connected to the Caribbean Sea in its southeastern portion, thus presenting a restricted water exchange with this water body (Carrillo *et al.*, 2009; Avalos-Cueva *et al.*, 2017). It receives numerous freshwater tributaries, such as the Hondo River, the Guerrero Lagoon System, and Shipstern Lagoon, on the border with Belize (Carrillo *et al.*, 2009). It has an average depth of 3.28 m with microtidal conditions (<0.2 m), making it a dynamic system mainly due to wind action (Ortiz-Hernández and Sáenz-Morales, 1999; Carrillo *et al.*, 2009).

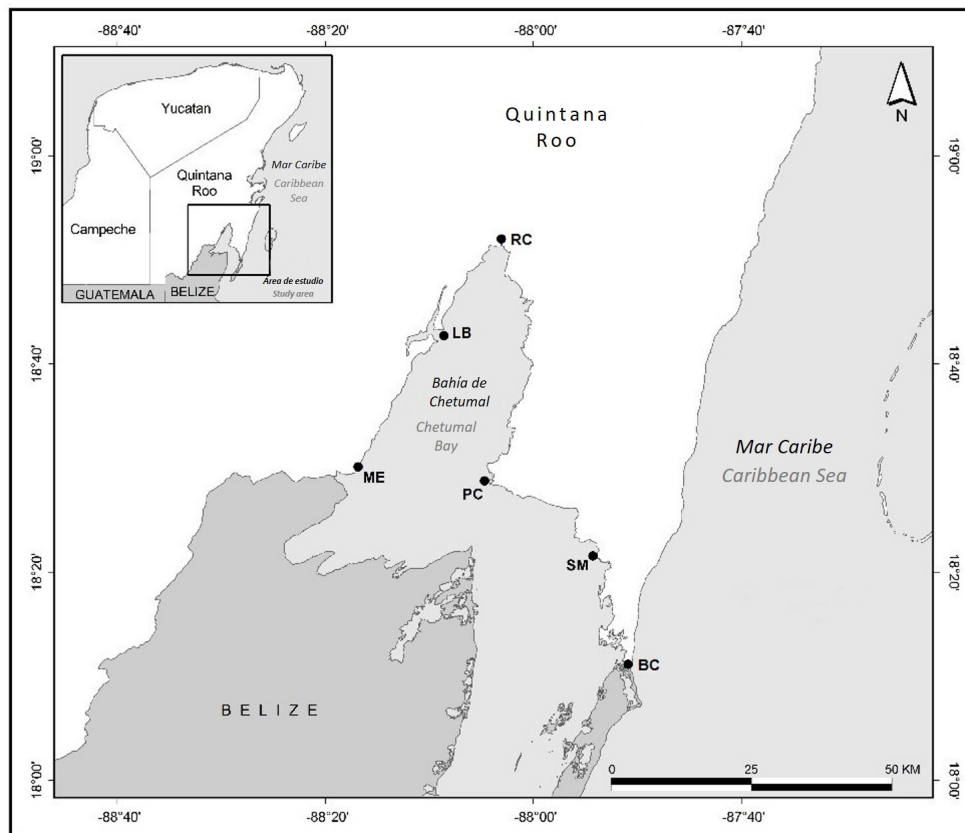
## MATERIALS AND METHODS

### Sampling

Six coastal sites of Chetumal Bay were selected on April 23 and 24, 2019 at different times (7:00 AM to 17:00 PM). The sites were selected considering a salinity gradient following Carrillo *et al.* (2009): low salinity (<10 UPS), 1) Río Creek (RC), and 2) La Barra (LB); medium salinity (11 to 18 UPS), 3) Megaescultura (ME), 4) Punta Calentura (PC), and 5) Siete Mogotes (SM); finally marine salinity (37 UPS) 6) Bacalar Chico (BC) (Figure 1). At each site, duplicate sediment samples were collected by forcing a PVC hand corer (2.5 cm inner diameter) to a depth of 5 cm into the sediment.

Calentura, (PC); y 5) Siete Mogotes (SM) Finalmente, 6) Bacalar Chico (BC) salinidad marina (37 UPS) (Figura 1). En cada sitio, se recogieron muestras duplicadas de sedimento empujando un núcleo manual de PVC (2,5 cm de diámetro interior) hasta una profundidad de 5 cm en el sedimento. Una muestra se fijó con formalina al 4%, para la extracción posterior de nemátodos en laboratorio, mientras que la otra se utilizó para el análisis del tamaño del grano utilizando una serie estándar de tamices de acuerdo con Buchanan (1971) y para la determinación de la clorofila *a* según Walsham *et al.* (2020). Además, se midió la salinidad en la columna de agua con un refractómetro Atago®; así como el oxígeno disuelto (DO) y temperatura con un medidor YSI 550A®.

One sample was fixed in 4% formalin for subsequent nematode extraction in the laboratory, whereas the other was used for grain size analysis using a standard sieves series, following Buchanan (1971), and for the determination of chlorophyll *a*, according to Walsham *et al.* (2020). Additionally, salinity was measured in the water column with an Atago® refractometer; also dissolved oxygen (DO) and temperature were recorded with a YSI 550A® instrument.



**Figura 1.** Ubicación de los sitios de muestreo en la bahía de Chetumal. Río Creek (RC), La Barra (LB), Megaescultura, (ME), Punta Calentura, (PC); Siete Mogotes, (SM) y Bacalar Chico (BC). Adaptado de Google Earth.

**Figure 1.** Location of the sampling sites in Chetumal Bay. Río Creek (RC), La Barra (LB), Megaescultura (ME), Punta Calentura (PC); Siete Mogotes (SM) and Bacalar Chico (BC). Adapted from Google Earth.

### Procesamiento de muestras y taxonomía de los nemátodos

La meiofauna fue extraída por el método de decantación sucesiva (tres enjuagues), colocando una malla superior de 1000  $\mu\text{m}$  y con un tamiz inferior de 45  $\mu\text{m}$  (Vincx, 1996). Los nemátodos fueron separados manualmente del resto de la meiofauna utilizando

### Sample processing and nematode taxonomy

Meiofauna was extracted by successive decantation (three washes), washing each sample using a superior sieve with a mesh size of 1000  $\mu\text{m}$  and then with a sieve with a mesh size of 45  $\mu\text{m}$  (Vincx, 1996). Nematodes were manually sorted from the rest of

un estereomicroscopio Leica ZOOM 2000. Los organismos se colocaron en una serie gradual de glicerina (10, 25, 75 y 100%), y fueron montados en laminillas de vidrio y sellados con Neo-Mount™. La diversidad de los nemátodos fue calculada extrayendo aleatoriamente cien ejemplares de cada muestra (Hodda, 1984; Vincx, 1996) y revisados con un microscopio Nikon a 100x. Cuando el número de organismos fue menor a 100, todos los nemátodos encontrados fueron montados. La determinación de los géneros se realizó siguiendo a Tarjan (1980) y Platt y Warwick (1983), así como literatura y claves disponibles en la base de datos de nemátodos mundial (Nemys, 2025). Para la identificación a nivel de especies, cada espécimen fue dibujado con una cámara clara, medido y los parámetros de De Man fueron calculados (Platt y Warwick, 1983) y comparados con la morfología de las descripciones de cada especie consultados en la base de datos de Nemys. Los especímenes se depositaron en la colección de referencia de nemátodos en El Colegio la Frontera Sur- Unidad Chetumal.

### Grupos tróficos y estrategias de vida

Los nemátodos se clasificaron en cuatro grupos tróficos de acuerdo con la morfología de la cavidad bucal siguiendo a Wieser (1953): alimentadores de depósito selectivos (1A), alimentadores de depósito no selectivos (1B), alimentadores de epistratos (2A), y omnívoros/depredadores (2B). Subsecuentemente para cada sitio se calculó el índice de diversidad trófica (IDT) propuesto por Heip *et al.* (1985):  $IDT = \sum \theta^2$ , donde  $\theta$  es el porcentaje de contribución de cada tipo de alimentación IDT varía de 0.25 (alta diversidad trófica, todos los tipos de alimentación están presentes) a 1 (baja diversidad trófica solo un tipo de alimentación está presente).

La estrategia de vida de cada espécimen se asignó a los géneros basados en la escala colonizador-persistente (c-p), donde 1 es colonizador, 5 es persistente. Los colonizadores 1 (estrategas r, especies oportunistas); 2 especies tolerantes, 3 moderados; 4 especies altamente sensitivas y 5 persistentes (estrategas k, fauna estable de redes tróficas complejas) (Bongers *et al.*, 1991; Bongers, 1999). El índice de madurez (IM) también fue calculado con base en la escala c-p y la abundancia de los organismos en cada sitio. (Bongers *et al.*, 1991).

### Análisis de datos

Para analizar la diversidad de los nemátodos, la riqueza de especies, el índice de Shannon-Wiener (H) calculada en base 2, la equitatividad (J) se calcularon en cada sitio. Subsecuentemente, los

the meiofauna using a stereomicroscope Leica ZOOM 2000. The organisms were fixed in a graded series of glycerin (10, 25, 75, and 100%), then were mounted on permanent glass slides and sealed with Neo-Mount™. Nematode diversity was figured out by randomly selecting one hundred nematodes from each sample (Hodda, 1984; Vincx, 1996) and viewed with a Nikon microscope at 100x. When there were fewer than one hundred nematodes, all nematodes in the sample were mounted. The genera determinations were done following Tarjan (1980) and Platt and Warwick (1983), and keys/literature available in the World Database of Nematodes (Nemys, 2025). For species-level determination, each specimen was sketched with a drawing tube, measured, and the de Man's parameters (Platt and Warwick, 1983) were calculated, and compared with the original morphology description papers, after consulting the Nemys database. Specimens were deposited in the nematode reference collection at El Colegio la Frontera Sur- Unidad Chetumal.

### Trophic groups and life strategy

The nematodes were classified into four trophic groups according to their buccal morphology, following Wieser (1953): selective deposit feeders (1A), non-selective deposit feeders (1B), epigrowth feeders (2A), and omnivores/predators (2B). Subsequently, for each site was calculated the index of trophic diversity (ITD) proposed by Heip *et al.* (1985):  $ITD = \sum \theta^2$ , where  $\theta$  is the percentage contribution of each type of feeding. ITD values range from 0.25 (highest trophic diversity, i.e., all four trophic groups are 25% each) to 1.0 (lowest trophic diversity, i.e., one feeding type is in 100% of nematodes).

The nematode life strategy of each specimen was assigned to genera based on the colonizer- persisted (c-p) scale (1 = colonizer; 5 = persisted). Scales: 1 colonizer (r-strategists, opportunistic species); 2 tolerant; 3 moderates; 4 highly sensitive to pollution and stress; 5 persisters (k-strategists, faunal components of a stable and complex food web) (Bongers *et al.*, 1991; Bongers, 1999). The maturity index (MI) also was computed by site based on the c-p scale and the abundances of the organisms at each site (Bongers *et al.*, 1991).

### Data analysis

To analyze the nematode diversity, the species richness (S), Shannon-Wiener's index (H') calculated in base 2, and evenness (J) were calculated for each site. Subsequently, ecological indices (including ITD and MI) were correlated with water variables

índices ecológicos (IDT y IM) se correlacionaron con las variables medidas en el agua (temperatura, salinidad y oxígeno disuelto) y con las variables sedimentarias (tamaño de grano y clorofila *a*) para explicar la abundancia y distribución de los nemátodos. Para analizar la similitud en la composición de especies entre sitios se realizó un análisis de conglomerados con un perfil de similitud (SIMPROF) prueba que se basa en el coeficiente de Bray-Curtis, mientras que para encontrar diferencias significativas entre la composición de especies entre sitios se realizó un ANOVA de una vía. Para ello, la normalidad de los datos fue evaluada *a priori* mediante la prueba de Shapiro-Wilk. Adicionalmente, para cuantificar el porcentaje de disimilaridad y el grado de contribución de cada especie se aplicó un análisis SIMPER con un corte de 90%. Se realizó un análisis BIO-ENV (Clarke y Ainsworth, 1993) para conocer que variables del agua o sedimento explicaban mejor la distribución de la comunidad de nemátodos. Los análisis multivariados se realizaron con el software PRIMER v.6 (Clarke y Gorley, 2006), mientras que las correlaciones y el análisis ANOVA se realizaron usando el software PAST (Hammer *et al.*, 2001).

## RESULTADOS

### Parámetros de la columna de agua y sedimentos

La temperatura osciló entre 25,6 °C en La Barra y 29,6 °C en Bacalar Chico, con un valor medio de 27,5 °C. La salinidad varió entre 8 UPS en Río Creek y 37 UPS en Bacalar Chico, con una salinidad media de 14 UPS. El oxígeno disuelto fue mínimo en Río Creek (4,37 mg L<sup>-1</sup>), mientras que el máximo se registró en Bacalar Chico 7,21 mg L<sup>-1</sup>. Los sedimentos correspondieron a arena fina en Siete Mogotes y Bacalar Chico, arenas medias en La Barra Megaescultura y arena gruesa en Río Creek y Punta Calentura. La clorofila *a* varió entre 11,45 y 24,85 mg.m<sup>-3</sup>, Bacalar Chico mostró el valor más alto, mientras que Río Creek el más bajo (Tabla 1).

(temperature, salinity, DO) and sediment variables (grain size, Chlorophyll *a*) to explain the abundance and distribution of nematodes. To analyze the similarity in species composition between sites a hierarchical cluster analysis with a Similarity profile (SIMPROF) test based on the Bray–Curtis's coefficient was conducted, while to finding significant differences in species composition between sites, a one-way ANOVA was performed. For this, *a priori* data normality tests were performed using the Shapiro test function. Additionally, to quantify dissimilarity percentages between sites and the degree of contribution of each species a Similarity Percentage (SIMPER) analysis (90% cut-off) was conducted. A BIO-ENV analysis (Clarke and Ainsworth, 1993) was performed to know what water and sediment variables were best to explain the nematode community distribution. Multivariate analyses were conducted in PRIMER v.6 (Clarke and Gorley, 2006), whereas correlation analysis and one-way ANOVA were performed using PAST software (Hammer *et al.*, 2001).

## RESULTS

### Water column parameters and sediments

Temperature oscillated from 25.6 °C at La Barra to 29.6 °C at Bacalar Chico, and a mean value of 27.5 °C. Salinity varied from 8 UPS at Río Creek to 37 UPS at Bacalar Chico, with a mean salinity of 14 UPS. Dissolved oxygen was the minimum at Río Creek (4.37 mg L<sup>-1</sup>), whereas the maximum was registered at Bacalar Chico 7.21 mg L<sup>-1</sup>. Sediments corresponded to fine sand at Siete Mogotes and Bacalar Chico, medium sands at La Barra Megaescultura, and coarse sand at Río Creek and Punta Calentura. The Chlorophyll *a* varied between 11.45 to 24.85 mg.m<sup>-3</sup>, Bacalar Chico showed the highest value, while Río Creek the lowest (Table 1).

**Tabla 1.** Sitios y parámetros ambientales en la columna de agua y sedimentos en la bahía de Chetumal.

sites / sitios	temperature / temperatura (°c)	salinity / salinidad (ups)	dissolved oxygen / oxígeno disuelto (mg l <sup>-1</sup> )	grain size / tamaño de grano (mm)	chlorophyll a / clorofila a (mg.m <sup>-3</sup> )
Río Creek (RC)	26.8	8.0	4.32	0.05	11.45
La Barra (LB)	25.6	9.0	5.55	1.90	14.60
Punta Calentura (PC)	27.7	9.5	6.15	0.90	11.46
Megaescultura (ME)	27.9	10.0	5.86	1.20	17.62
Siete Mogotes (SM)	26.9	17.0	6.51	2.20	12.73
Bacalar Chico (BC)	28.2	37.0	7.21	2.30	24.85

**Table 1.** Sites and environmental parameters in the water column and sediments in Chetumal Bay.

### Ensamblaje de nemátodos

Se encontraron un total de 451 nemátodos pertenecientes a 7 órdenes, 18 familias, 42 géneros y 56 especies (Material Suplementario S1). Las familias Desmodoridae y Xyalidae eran las más diversas en géneros, con nueve y siete géneros, respectivamente. Mientras que los géneros con mayor número de especies fueron *Tricoma* y *Theristus* (cinco y cuatro especies, respectivamente). *Anoplostoma* sp., *Adoncholaimus* sp., *Paramonohystera* sp., *Stylotheristus* sp. y *Gomphonema* sp. fueron las especies más abundantes, representando 34,59% del conjunto total de nemátodos (Tabla 2). Mientras que las especies mejor distribuidas fueron *Stylotheristus* sp., presente en todos los sitios y *Spirinia hamata* en cinco sitios.

### Nematode assemblage

A total of 451 nematodes were found belonging to seven orders, 18 families, 42 genera, and 56 species (Supplementary Material S1). The families Desmodoridae and Xyalidae were the more diverse in genera with nine and seven, respectively. While the rich genera with the highest species number were *Tricoma* and *Theristus* (five and four species, respectively), *Anoplostoma* sp., *Adoncholaimus* sp., *Paramonohystera* sp., *Stylotheristus* sp., and *Gomphonema* sp. were the most abundant species, being 34.59% of the total nematode assemblage (Table 2). Whereas the most widely distributed species were *Stylotheristus* sp. present on all sites, and *Spirinia hamata* in five sites.

**Tabla 2.** Lista y abundancia relativa (%) de las veinte especies más abundantes registradas en el estudio.

Species / Especies	(%)	Species / Especies	(%)
<i>Anoplostoma</i> sp.	12.42	<i>Megadesmolaimus</i> sp.	3.55
<i>Adoncholaimus</i> sp.	6.65	<i>Dichromadora geophila</i> , (de Man, 1876)	3.33
<i>Paramonohystera</i> sp.	6.21	<i>Paradesmodora campbelli</i> , (Allgen, 1932)	3.33
<i>Stylotheristus</i> sp.	4.88	<i>Steineria ampullacea</i> Wieser and Hopper, 1967	2.88
<i>Gomphonema</i> sp.	4.43	<i>Parapinnanema harveyi</i> Warwick and Cole, 1975	2.44
<i>Viscosia papillatulla</i> , (Chitwood, 1951)	3.99	<i>Terschelingia communis</i> de Man, 1888	2.44
<i>Desmodora</i> sp.	3.77	<i>Halichoanolaimus duodecimpapillatus</i> Timm, 1954	2.22
<i>Spirinia hamata</i>	3.77	<i>Terschelingia longicaudata</i> De Man 1907	2.22
<i>Marylynnia</i> sp. 1	3.55	<i>Halichoanolaimus quattordecimpapillatus</i> Chitwood, 1951	2
<i>Xenodesmodora</i> sp.	3.55	<i>Metadesmodora</i> sp.	2

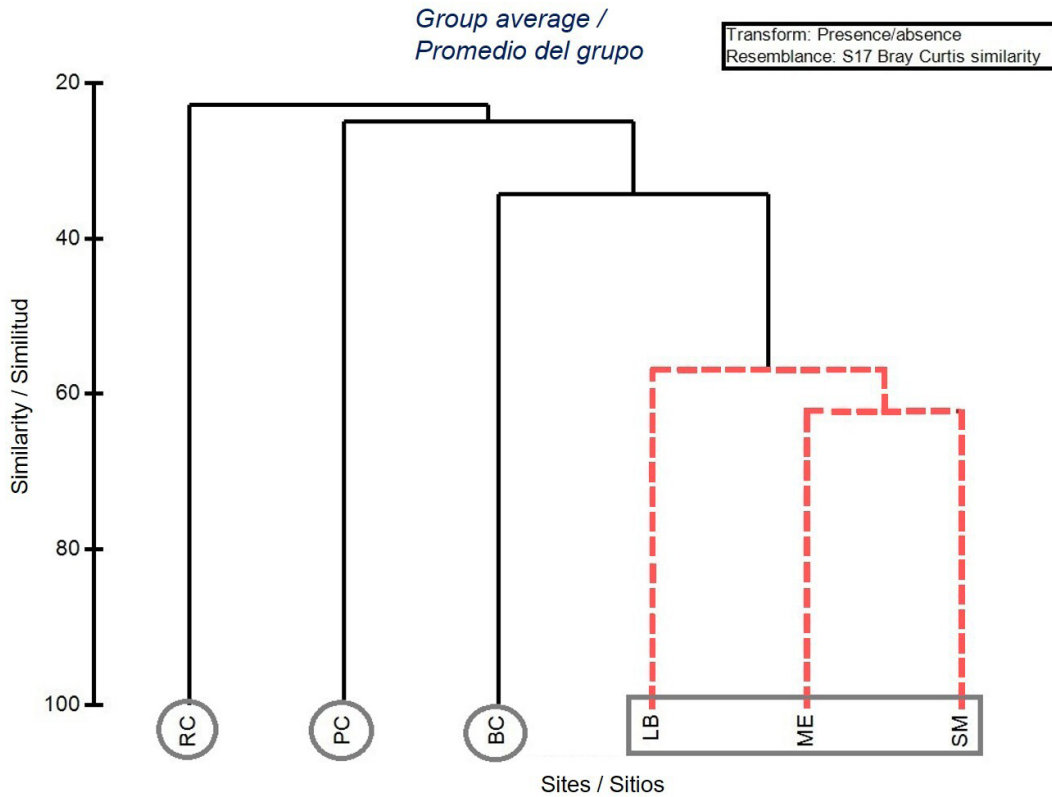
**Table 2.** List and relative abundance (%) of the twenty most abundant species recorded in the study.

El ANOVA de una vía reveló diferencias significativas en la riqueza de especies entre los sitios ( $F: 4,31, p = 0,008$ ). Se identificaron cuatro grupos en el análisis de conglomerados, mostrando diferencias significativas entre los grupos ( $P_i = 6,571, p = 0,003$ ), según la prueba SIMPROF. Los sitios Megaescultura, Siete Mogotes y La Barra mostraron los mayores niveles de similitud (más del 56%) (Figura 2). Mientras que el análisis SIMPER mostró las mayores diferencias entre Río Creek y Punta Calentura (disimilitud media = 94,40%), siendo *Anoplostoma* sp., *Gomphioema* sp. y *Spirinia* sp. los principales contribuyentes a la diferencia. Según el análisis BIO-ENV, la comunidad de nemátodos fue influenciada por el oxígeno disuelto y el tamaño del grano (Tabla 3).

The one-way ANOVA revealed significant differences in species richness between sites ( $F: 4.31, p = 0.008$ ). Four groups were identified in the cluster analysis, showing significant differences between the groups ( $P_i = 6.571, p = 0.003$ ), according to the SIMPROF test. The sites Megaescultura, Siete Mogotes, and La Barra showed the highest levels of similarity (over 56%) (Figure 2). While the SIMPER analysis showed the greatest dissimilarities between Río Creek and Punta Calentura (Average dissimilarity = 94.40%), with *Anoplostoma* sp., *Gomphioema* sp., and *Spirinia* sp. being the main contributors to the difference. According to BIO-ENV analysis, the nematode community was influenced by dissolved oxygen and the grain Size (Table 3).

**Figura 2.** Análisis de conglomerados jerárquicos con prueba SIMPROF sobre la similitud de las comunidades de nemátodos en la bahía de Chetumal. Los grupos están marcados con círculos y rectángulos grises. Las barras rojas indican que no existen diferencias significativas entre los sitios. RC = Río Arroyo, PC = Punta Calentura, BC = Bacalar Chico, LB = La Barra, ME = Megaescultura, SM = Siete Mogotes.

**Figure 2.** Hierarchical Cluster analysis with SIMPROF test on similarity of nematode communities in Chetumal Bay. The groups are marked in circles and gray rectangles. Red bars branches indicate no significant difference between sites. RC = Rio Creek, PC = Punta Calentura, BC = Bacalar Chico, LB = La Barra, ME = Megaescultura, SM = Siete Mogotes.



**Tabla 3.** Resultados del análisis BIO-ENV que muestran el coeficiente de correlación de Spearman entre los parámetros ambientales y la comunidad de nemátodos. DO = Oxígeno disuelto, T. de grano = Tamaño de grano, Temp = Temperatura, Chl a = Clorofila a, Sal = Salinidad.

**Table 3.** Results of the BIO-ENV analysis showing the Spearman correlation coefficient between environmental parameters and nematode community. DO = Dissolved Oxygen, G. Size = Grain Size, Temp = Temperature, Chl a = Chlorophyll a, Sal = Salinity.

Variables	Spearman correlation coefficient / Coeficiente de correlación de Spearman
DO, G. Size / T. de grano	0.49
DO	0.48
G. Size / T. de grano	0.48
Temp, DO, G. Size / T. de grano	0.35
DO, G. Size / T. de grano, Chl a	0.32
DO, Chl a	0.28
Temp, DO	0.25
G. Size / T. de grano, Chl a	0.25
Temp, DO, Chl a	0.20
Sal, DO, G. Size / T. de grano, Chl a	0.17

## Análisis de datos ecológicos

La riqueza de especies varió entre 6 y 35 especies, alcanzando su valor más alto en Bacalar Chico y el mínimo en Punta Calentura. La equidad osciló entre 0,80 y 0,95, con valores máximos en Punta Calentura y valores mínimos en Río Creek. La diversidad de Shannon-Wiener mostró una alta riqueza de especies, con valores más altos en Bacalar Chico (4,73 bits.ind<sup>-1</sup>) y mínimos en Creek River (2,25 bits.ind<sup>-1</sup>). El IDT alcanzó su valor más alto en Punta Calentura (0,89), mientras que Bacalar Chico mostró el mínimo (0,26). El IM varió de 2,31 a 2,92, con el valor más alto en Megaescultura y el más bajo en Punta Calentura (Tabla 4).

**Tabla 4.** Valores de los índices de diversidad de las comunidades de nemátodos. Riqueza de especies (S), índice de equitatividad de Pielou (J), índice de diversidad de Shannon-Wiener (H'), índice de diversidad trófica (IDT), índice de madurez (IM). RC = Río Creek LB = La Barra, PC = Punta Calentura, ME = Megaescultura, SM = Siete Mogotes, BC = Bacalar Chico.

Sites / Sitios	S	J'	H'(log2)	ITD	MI
RC	7	0.80	2.25	0.37	2.50
LB	18	0.79	3.31	0.44	2.45
PC	6	0.95	2.46	0.89	2.31
ME	21	0.76	3.36	0.31	2.92
SM	24	0.88	4.04	0.31	2.82
BC	35	0.92	4.73	0.26	2.82

Por otro lado, las correlaciones estadísticas revelaron relaciones significativas entre la riqueza de especies y la salinidad, el tamaño del grano y la clorofila *a*. Mientras que la diversidad de Shannon-Wiener mostró una fuerte correlación con la salinidad, el DO y el tamaño del grano (Tabla 5).

## Ecological data analysis

The richness of species varied from 6–35 species, reaching its highest value in Bacalar Chico and the minimum in Punta Calentura. Evenness ranged from 0.80 to 0.95, with maximum values at Punta Calentura and minimum values at Río Creek. Shannon-Wiener diversity showed consistent with high species richness with higher values at Bacalar Chico (4.73 bits.ind<sup>-1</sup>) and minimum at Creek River (2.25 bits.ind<sup>-1</sup>). The ITD reached its highest value in Punta Calentura (0.89) while Bacalar Chico showed the minimum (0.26). The MI varied from 2.31 to 2.92, with the highest value at Megaescultura and lowest at Punta Calentura (Table 4).

**Table 4.** Values of the diversity indices of the nematode communities. Species richness (S), Pielou's index of evenness (J), Shannon Wiener diversity index (H'), index of trophic diversity (ITD), Mature index (MI). RC = Río Creek, LB = La Barra, PC = Punta Calentura, ME = Megaescultura, SM = Siete Mogotes, BC = Bacalar Chico.

On the other hand, statistical correlations revealed significant relationships of species richness with salinity, grain size, and Chlorophyll *a*. While Shannon-Wiener diversity showed a strong correlation with salinity, DO, and grain size (Table 5).

**Tabla 5.** Valores de correlación de la diversidad de nemátodos con parámetros ambientales de la columna de agua y el sedimento. \* Valores significativos ( $p < 0,05$ ).

Index / Índice	Temperature / Temperatura	Salinity / Salinidad	Dissolved Oxygen / Oxígeno Disuelto	Grain Size / Tamaño de Grano	Chlorophyll a / Clorofila a
<b>S</b>	0.3	<b>0.84*</b>	0.75	<b>0.84*</b>	<b>0.86*</b>
<b>J'</b>	0.44	0.51	0.63	0.27	0.12
<b>H'</b>	0.28	<b>0.85*</b>	<b>0.82*</b>	<b>0.91*</b>	0.79
<b>ITD</b>	0.02	-0.42	-0.07	-0.36	-0.52
<b>MI</b>	0.44	0.49	0.45	0.47	0.6

**Table 5.** Correlation values of the diversity of nematodes with environmental parameters of water column and sediment. \* Significant values ( $p < 0.05$ ).

### Grupos tróficos y estrategia de vida

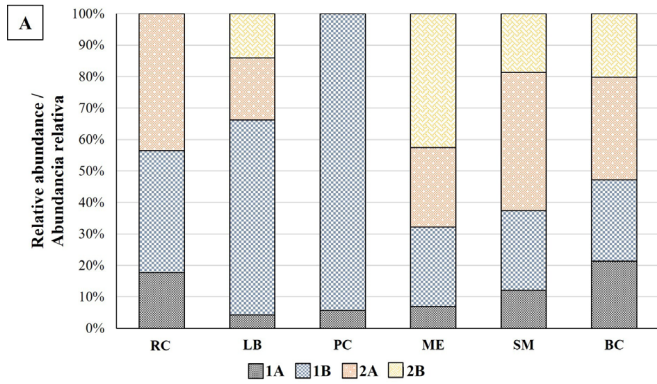
Durante este estudio estuvieron presentes los cuatro grupos tróficos de nemátodos. En general, los que se alimentan de depósitos no selectivos (38,36%) dominaron, estos nemátodos se alimentan de materia orgánica y bacterias, seguidos de los que se alimentan de epistratos (30,82%), los omnívoros/depredadores (18,85%) y alimentadores de depósito selectivo (11,97%). Los alimentadores de depósito no selectivos dominaron en La Barra y Punta Calentura, mientras que los alimentadores de epistratos dominaron en Río Creek, Siete Mogotes y Bacalar Chico, en tanto que los omnívoros/depredadores solo dominaron en Megaescultura (Figura 3A).

Por otro lado, los nemátodos con c-p3 dominaron el estudio (54,32%), seguidos por c-p2 (37,92%) y c-p4 (7,76%), mientras que los organismos con clasificaciones c-p1 y c-p5 estuvieron ausentes durante el estudio. Los sitios de Río Creek, La Barra y Punta Calentura estaban dominados por organismos c-p2, mientras que los organismos c-p3 dominaban las estaciones restantes (Figura 3B).

### Trophic groups and life strategy

All four nematode trophic groups were present during this study. In general, non-selective deposit feeders (38.36%) dominated these nematodes feed on organic matter and bacteria, followed by epigrowth feeders (30.82%), omnivores/predators (18.85%), and selective deposit feeders (11.97%). Non-selective deposit feeders were dominant in La Barra and Punta Calentura, while epigrowth feeders dominated in Río Creek, Siete Mogotes, and Bacalar Chico, while omnivores/predators only dominated in Megaescultura (Figure 3A).

On the other hand, nematodes with c-p3 dominated the study (54.32%), followed by c-p2 (37.92%) and c-p4 (7.76%), while organisms with c-p1 and c-p5 classifications were absent during the study. The Río Creek, La Barra, and Punta Calentura sites were dominated by c-p2 organisms, while c-p3 organisms dominated the remaining stations (Figure 3B).

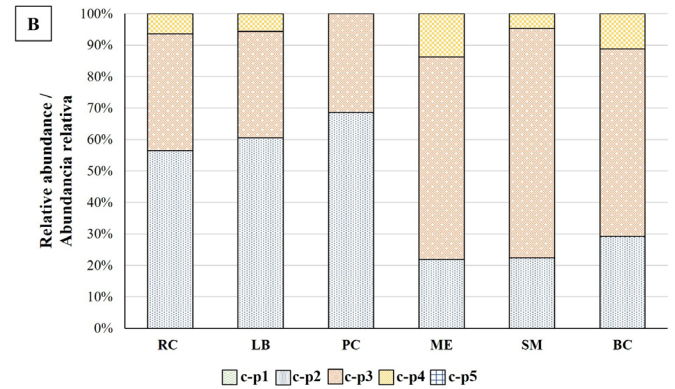


**Figura 3.** Porcentaje de grupos tróficos (A) y estrategia de vida (B) en los sitios de muestreo en la Bahía de Chetumal. RC = Río Creek, LB = La Barra, PC = Punta Calentura, ME = Megaescultura, SM = Siete Mogotes, BC = Bacalar Chico. 1A: detritívoros selectivos; 1B: detritívoros no selectivos; 2A: alimentadores de crecimiento superficial; 2B: omnívoros/depredadores. c-p1: colonizador; c-p2: tolerante; c-p3: moderado; c-p4: altamente sensible a la contaminación y al estrés; c-p5: persistente.

## DISCUSIÓN

### Ensamblaje de nemátodos

Los 42 géneros registrados en el presente estudio, junto con la predominancia de *Anoplostoma* sp., representan una mayor riqueza genérica que la registrada en estudios previos en la bahía de Chetumal por de Jesús-Navarrete y Herrera-Gómez (1999, 2002), que documentaron entre 18 y 37 géneros e identificaron a *Pseudochromadora* e *Neotonchoides* como géneros dominantes. Sin embargo, esto es bajo en comparación con los hallazgos del estuario Sado, donde encontraron noventa y seis géneros, con *Sabatieria* como uno de los más abundantes (Sroczyńska et al., 2021a). Esto contrasta con nuestros hallazgos, especialmente en los géneros dominantes, que podrían reflejar una alta plasticidad y adaptabilidad de los nemátodos a sistemas de mezcla como la bahía de Chetumal. En Australia también se encontró una alta presencia de *Anoplostoma viviparum* y *Terschellingia longicaudata* en ambientes de baja salinidad (Alongi, 1987), lo que coincide con nuestros resultados, ya que estas especies estaban presentes en ambientes oligohalinos y mesohalinos. La bahía de Chetumal es un sistema estuarino con gradiente salino, que está sujeto al efecto de los vientos alisios y, debido a su poca profundidad, con un efecto directo sobre los sedimentos, el sistema no es homogéneo, mostrando baja salinidad en el interior y salinidades marinas en Bacalar Chico (Carrillo et al., 2009). La variabilidad de la comunidad de nemátodos se atribuye a la interacción entre diferentes variables (Moens et al., 2013; Hua et al., 2023). En



**Figure 3.** Percentage of trophic groups (A) and life strategy (B) at the sampling sites in Chetumal Bay. RC = Río Creek, LB = La Barra, PC = Punta Calentura, ME = Megaescultura, SM = Siete Mogotes, BC = Bacalar Chico. 1A: selective deposit feeders; 1B: non-selective deposit feeders; 2A: epigrowth feeders; 2B: omnivores/predators. c-p1: colonizer; c-p2: tolerant; c-p3: moderates; c-p4: highly sensitive to pollution and stress; c-p5: persisters.

## DISCUSSION

### Nematode assemblage

The 42 genera recorded in the present study, together with the dominance of *Anoplostoma* sp., represent a higher generic richness than that reported in previous studies from Chetumal Bay by de Jesús-Navarrete and Herrera-Gómez (1999, 2002), which documented 18–37 genera and identified *Pseudochromadora* and *Neotonchoides* as the dominant genera. However, this is low compared to the findings in the Sado estuary, where they found ninety-six genera with *Sabatieria* as one of the most abundant (Sroczyńska et al., 2021a). This contrasts with our findings, especially in the dominant genera, which could reflect high plasticity and adaptability of nematodes to mixing systems such as Chetumal Bay. Nevertheless, in Australia, a high presence of *Anoplostoma viviparum* and *Terschellingia longicaudata* was also found in low-salinity environments (Alongi, 1987), which coincides with our results since these species were present in oligohaline and mesohaline environments. The bay of Chetumal is an estuarine system with a saline gradient, which is subject to the effect of the Trade winds and due to its shallow depth, with a direct effect on the sediments, the system is not homogeneous showing low salinity in the interior and marine salinities in Bacalar Chico (Carrillo et al., 2009). Nematode community variability is ascribed to the interaction between different variables (Moens et al., 2013; Hua et al., 2023). In our case, the BIOENV analysis showed that DO and grain size are the main variables related to the community,

nuestro caso, el análisis BIOENV mostró que el OD y el tamaño del grano son las principales variables relacionadas con la comunidad, lo cual es consistente con [Nguyen et al. \(2018\)](#), [Wu et al. \(2019\)](#) y [Sroczyńska et al. \(2021b\)](#). Aunque en general todos los sitios mostraron condiciones de oxígeno ( $4.32\text{--}7.21\text{ mg L}^{-1}$ ), pequeñas variaciones en las concentraciones de OD pueden afectar a la comunidad de nemátodos. Un ejemplo de esto son los sitios que registraron la menor concentración de OD (Río Creek y La Barra), que mostraron la mayor abundancia de organismos con bajas tasas de respiración, como *Anoplostoma* sp. y *T. longicaudata* ([Taheri et al., 2015](#)). Mientras que los sitios con los valores de OD más altos (Bacalar chico y Siete Mogotes) tenían predominancia de *Dorylaimopsis* sp. y *Viscosia papillata*, organismos asociados con sitios con valores altos de OD ([Nguyen et al., 2018](#)).

El tamaño medio de los granos del sedimento mostró que las partículas son más finas, mejor clasificadas y con asimetría hacia las partículas gruesas en la región central de la bahía de Chetumal ([de Jesús-Navarrete et al., 2000](#)). Sitios con alta escorrentía pluvial, como Río Creek, donde drena la mayor parte del agua del humedal, mostraron sedimentos de limos gruesos ( $0.05\text{ mm}$ ), debido a la hidrodinámica, lo que se manifiesta en la distribución de nemátodos, con organismos más delgados como *Anoplostoma*, *Longicyatholaimus* y *Terschellingia*, que también se ha observado en otros sistemas estuarinos ([Liu et al., 2007](#); [Adão et al., 2009](#); [Sroczyńska et al., 2021a](#)). El tamaño medio de las partículas sedimentarias se ha destacado como un factor clave en la distribución de los nemátodos ([Warwick, 1971](#); [Udalov et al., 2005](#); [Giere, 2009](#)). La distribución de sedimentos con un tamaño de grano de arenas finas a gruesas sugiere que las condiciones hidrodinámicas deben ser lo suficientemente intensas como para limitar la deposición y el contenido de limos y arcillas, como ocurre en Bacalar Chico con sedimentos medios a gruesos ([Aubrey, 1986](#); [Teeter et al., 2001](#)), donde la fuerza de las olas no permite el asentamiento de partículas finas y que influyen prácticamente en la composición de la comunidad de nemátodos ([Sroczyńska et al., 2021a](#)).

De manera notable, en ambientes estuarinos con gradiente de salinidad como la bahía de Chetumal ([de Jesús-Navarrete et al., 2000](#); [Carrillo et al., 2009](#); [Vásquez-Yeomans et al., 2012](#)), se esperaría que la salinidad desempeñara un papel significativo en la comunidad de nemátodos, como mencionaron [Adão et al. \(2009\)](#) y [Milovankina y Fadeeva \(2019\)](#). En nuestro caso, la

which is consistent with [Nguyen et al. \(2018\)](#), [Wu et al. \(2019\)](#) and [Sroczyńska et al. \(2021b\)](#). Although in general all sites showed oxygen conditions ( $4.32\text{--}7.21\text{ mg L}^{-1}$ ), small variations in DO concentrations can affect the nematode community. An example of this are the sites that recorded the lowest DO concentration (Río Creek and La Barra), which showed the highest abundance of organisms with low respiration rates, such as *Anoplostoma* sp. and *T. longicaudata* ([Taheri et al., 2015](#)). While the sites with the highest DO values (Bacalar chico and Siete Mogotes) had dominance of *Dorylaimopsis* sp. and *Viscosia papillata*, organisms associated with sites with high DO values ([Nguyen et al., 2018](#)).

The sediment mean grain size showed that the particles are finer, better classified and with an asymmetry towards coarse particles in the central region of Chetumal Bay ([de Jesús-Navarrete et al., 2000](#)). Sites with high rainfall runoff such as Río Creek, where most of the wetland water drains, showed coarse silt sediments ( $0.05\text{ mm}$ ), due to the hydrodynamics and this is manifested in the distribution of nematodes, with thinner organisms such as *Anoplostoma*, *Longicyatholaimus*, and *Terschellingia*, which has also been observed in other estuarine systems ([Liu et al., 2007](#); [Adão et al., 2009](#); [Sroczyńska et al., 2021a](#)). The average size of sedimentary particles has been highlighted as a key factor in the distribution of nematodes ([Warwick, 1971](#); [Udalov et al., 2005](#); [Giere, 2009](#)). The distribution of sediments with a grain size of fine to coarse sands suggests that the hydrodynamic conditions must be intense enough to limit the deposition and content of silts and clays, as is the case in Bacalar Chico with medium to coarse sediments ([Aubrey, 1986](#); [Teeter et al., 2001](#)), where the force of the waves does not allow the settlement of fine particles and that practically influence the composition of the nematode community ([Sroczyńska et al., 2021a](#)).

Remarkably, in estuarine environments with a salinity gradient, such as Chetumal Bay ([de Jesús-Navarrete et al., 2000](#); [Carrillo et al., 2009](#); [Vásquez-Yeomans et al., 2012](#)), salinity would be expected to play a significant role in the nematode community as mentioned by [Adão et al. \(2009\)](#) and [Milovankina and Fadeeva \(2019\)](#). In our case, most sites showed a mesohaline environment ( $5.0\text{--}18.0\text{ psu}$ ), except for Bacalar Chico (euhaline,  $30\text{--}40\text{ psu}$ ), observing a gradual increase in salinity at sites near the Caribbean Sea. However, this salinity gradient was not clearly mirrored in the distribution of nematodes, probably because some species are tolerant of salinity variation, consistent with the findings of

mayoría de los sitios mostraron un ambiente mesohalino (5,0–18,0 UPS), excepto Bacalar Chico (eurihalino, 30–40 psu), observando un aumento gradual de la salinidad en sitios cercanos al mar Caribe. Sin embargo, este gradiente de salinidad no se reflejó claramente en la distribución de los nemátodos, probablemente porque algunas especies son tolerantes a la variación de salinidad, lo que es coherente con los hallazgos de [Sroczyńska et al. \(2021b\)](#) en el estuario del Sado. Un ejemplo de esto es la presencia de *Stylotheristus*, que estuvo presente en todos los sitios, pero en otros estuarios se asocia como especie oligohalina ([Alongi, 1987](#)). Por otro lado, otros factores no considerados en este estudio podrían afectar a las comunidades de nemátodos, como los metales pesados encontrados en la bahía de Chetumal ([García-Ríos y Gold-Bouchot, 2003](#)). Sin embargo, dado que nuestra investigación solo se realizó una vez, debemos ser cuidadosos con nuestras conclusiones.

### Análisis de datos ecológicos

La diversidad de nemátodos en los sistemas estuarinos ha sido de baja a moderada en comparación con el entorno marino ([Heip et al., 1985](#)). Nuestros resultados son similares a los reportados en Australia en un estuario tropical, donde la diversidad varió entre 2,2 y 2,9 bits/ind, mientras que el número de especies osciló entre 11 y 54 especies ([Alongi, 1987](#)). En Malasia, en el estuario de Sarawack, [Chen et al. \(2012\)](#) registró 49 especies de nemátodos marinos y dos Dorylaimidae asociados con agua dulce, pero el estuario mostró baja riqueza de especies (51 especies) y valores de índice de Shannon inferiores a 2, que según [Moreno et al. \(2011\)](#), sugiere condiciones ambientales deficientes.

Por otro lado, las fuertes relaciones encontradas entre la diversidad de nemátodos y la salinidad, el OD, el tamaño del grano y la clorofila *a* sugieren que estas variables contribuyen a la disponibilidad de alimento, la protección frente a depredadores y la heterogeneidad del hábitat, como se ha registrado en otros sistemas estuarinos ([Udalov et al., 2005](#); [Alves et al., 2014](#); [Sroczyńska et al., 2021a, 2021b](#); [Hua et al., 2023](#); [Karim et al., 2024](#)). Curiosamente, los índices ecológicos, así como todos los parámetros ambientales en la columna de agua y los sedimentos, mostraron valores más altos en los sitios cercanos al mar Caribe, apoyando la hipótesis de que los ambientes marinos tienden a tener mayor diversidad de nemátodos que los sistemas estuarinos ([Heip et al., 1985](#)).

[Sroczyńska et al. \(2021b\)](#) in the Sado Estuary. An example of this is the presence of *Stylotheristus*, which was present on all sites, but in other estuaries it is associated as an oligohaline species ([Alongi, 1987](#)). On the other hand, other factors not considered in this study could affect the nematode communities such as heavy metals found in the Chetumal Bay ([García-Ríos and Gold-Bouchot, 2003](#)). However, given that our research is only done once, we must be careful with our conclusions.

### Ecological data analysis

The diversity of nematodes in estuarine systems has been low to moderate when compared to the marine environment ([Heip et al., 1985](#)). Our results are like those reported in Australia in a tropical estuary, where diversity varied from 2.2 to 2.9 bits/ind, while the number of species ranged from 11 to 54 species ([Alongi, 1987](#)). While in Malaysia, in the Sarawack Estuary, [Chen et al. \(2012\)](#) reported 49 species of marine nematodes and two Dorylaimidae associated with freshwater, but the estuary exhibited low species richness (51 species) and Shannon index values below 2, which, following [Moreno et al. \(2011\)](#), suggest poor environmental conditions.

On the other hand, the strong relationships found between nematode diversity with salinity, DO, grain size, and chlorophyll *a* suggest that these variables contribute to food availability, protection from predators, and habitat heterogeneity, as has been reported in other estuarine systems ([Udalov et al., 2005](#); [Alves et al., 2014](#); [Sroczyńska et al., 2021a, 2021b](#); [Hua et al., 2023](#); [Karim et al., 2024](#)). Interestingly, ecological indices as well as all environmental parameters in the water column and sediments showed higher values at sites near the Caribbean Sea, supporting the hypothesis that marine environments tend to have greater diversity than estuarine systems ([Heip et al., 1985](#)).

### Trophic groups and life strategy

Nematodes are ecologically successful organisms due to their distinct buccal cavities that allow them to exploit various food sources ([Wieser, 1953](#); [Schratzberger et al., 2019](#)). The dominance of non-selective deposit feeders in the Chetumal Bay was previously reported by [de Jesús-Navarrete and Herrera-Gómez \(2002\)](#) and in other estuarine systems ([Karim et al., 2024](#)). La Barra and Punta Calentura had the highest abundance of non-selective deposit feeders due to the dominance of *Anoplostoma* sp., a species characterized by inhabiting silty sands sediments ([Tchesunov](#)

## Grupos tróficos y estrategia de vida

Los nemátodos son organismos ecológicamente exitosos debido a sus cavidades bucales distintivas que les permiten explotar diversas fuentes de alimento (Wieser, 1953; Schratzberger *et al.*, 2019). La dominancia de los alimentadores de depósitos no selectivos en la bahía de Chetumal fue reportada previamente por de Jesús-Navarrete y Herrera-Gómez (2002) y en otros sistemas estuarinos (Karim *et al.*, 2024). La Barra y Punta Calentura tuvieron la mayor abundancia de alimentadores no selectivos debido a la predominancia de *Anoplostoma* sp., una especie caracterizada por habitar sedimentos de arenas limosas (Tchesunov y Nguyen, 2010), como los encontrados en sitios cercanos a la ciudad de Chetumal y al río Hondo. Esto sugiere un enriquecimiento de materia orgánica, contenido de proteínas, carbohidratos y otras sustancias en los sedimentos (Danovaro y Gambi, 2002). En el caso de los alimentadores de epístratos que dominaron Río Creek, Siete Mogotes y Bacalar Chico, esto probablemente se deba a la concentración de OD que favorece la presencia de microalgas en el sedimento, su principal fuente de alimento (Danovaro y Gambi, 2002; Nguyen *et al.*, 2018). Los omnívoros/depredadores solo dominaron en Megaescultura (cerca de la ciudad), debido a la predominancia de *Adoncholaimus* sp. Esto podría deberse a la presencia de otros grupos de meiofauna y nemátodos más pequeños como alimentadores selectivos que funcionan como alimento para omnívoros/depredadores (Schratzberger *et al.*, 2007; Moens *et al.*, 2013; Vargas-Espositos *et al.*, 2023).

En nuestro estudio, no encontramos la presencia de organismos con clasificación cp-1 y cp-5, como se reportó en la bahía de San Antonio (Villares y Pastor de Ward, 2020) y la bahía de Bohai (Hua *et al.*, 2021). Las altas abundancias de organismos cp-2 y cp-3 sugieren la presencia de nemátodos con cierta tolerancia a contaminantes como metales pesados, como *Sabatieria* y *Terchellingia* (Moreno *et al.*, 2011; Hua *et al.*, 2023), especialmente en lugares cercanos a la ciudad de Chetumal y al río Hondo. Esto sugiere que contaminantes como los metales pesados pueden ejercer una influencia más fuerte en la composición de los estratos de la historia de vida que las variables ambientales, según informó Hua *et al.* (2023).

## IDT y IM

Según los valores IDT y MI, la calidad ambiental de la bahía de Chetumal va de mala a alta según Moreno *et al.* (2011). Los sitios

and Nguyen, 2010), such as those found at sites near the city of Chetumal and the Río Hondo. This suggests an enrichment of organic matter, content of proteins, carbohydrates, and other substances in sediments (Danovaro and Gambi, 2002). In the case of epigrowth feeders that dominated Río Creek, Siete Mogotes, and Bacalar Chico, this is likely due to the DO concentration that promotes the presence of microalgae in the sediment, the main food source (Danovaro and Gambi, 2002; Nguyen *et al.*, 2018). Omnivores/predators only dominated Megaescultura (near the city), due to the dominance of *Adoncholaimus* sp. This could be due to the presence of other meiofauna groups and smaller nematodes as selective feeders that function as food for omnivores/predators (Schratzberger *et al.*, 2007; Moens *et al.*, 2013; Vargas-Espositos *et al.*, 2023).

In our study, we did not find the presence of organisms with cp-1 and cp-5 classification, like reported in San Antonio Bay (Villares and Pastor de Ward, 2020) and Bohai Bay (Hua *et al.*, 2021). The high abundances of cp-2 and cp-3 organisms suggest the presence of nematodes with a certain tolerance to pollutants such as heavy metals, such as *Sabatieria* and *Terchellingia* (Moreno *et al.*, 2011; Hua *et al.*, 2023), especially in sites near the city of Chetumal and the Hondo River. This suggests that contaminants such as heavy metals may exert a stronger influence on the composition of life-history strategists than environmental variables, as reported by Hua *et al.* (2023).

## ITD and MI

According to the ITD and MI values, environmental quality is from poor to high following Moreno *et al.* (2011). The sites Río Creek, La Barra, and Punta Calentura showed poor-moderate environmental conditions, due to the proximity of the Hondo River and the city of Chetumal, causing sedimentary material discharge, increased organic matter and nutrient concentrations (Ortiz-Hernández and Saénz-Morales, 1999). In contrast, Siete Mogotes and Bacalar Chico sites showed good-high conditions, due to the mixing of waters with the Caribbean Sea, which fostered a more stable environment. Interestingly, Megaescultura site showed good-high conditions, despite being close to the city of Chetumal. This could be due to the existence of areas of accumulation of organic matter, metals and hydrocarbons, which is related to the transport of sediments in Chetumal Bay (Ortiz-Hernández and Saénz-Morales, 1999; de Jesús-Navarrete *et al.*, 2000; Sánchez *et al.*, 2008). Even so, this could also be due to the sampling design,

Río Creek, La Barra y Punta Calentura mostraron condiciones ambientales pobres a moderadas, debido a la proximidad del río Hondo y la ciudad de Chetumal, lo que provoca vertidos de material sedimentario, aumento de la materia orgánica y las concentraciones de nutrientes (Ortiz-Hernández y Saéñz-Morales, 1999). En contraste, los sitios de Siete Mogotes y Bacalar Chico mostraron condiciones de buenas a altas, debido a la mezcla de aguas con el mar Caribe, que favorecieron condiciones más estables. Curiosamente, el sitio Megaescultura mostró condiciones buenas-altas, a pesar de estar cerca de la ciudad de Chetumal. Esto podría deberse a la existencia de áreas de acumulación de materia orgánica, metales e hidrocarburos, relacionadas con el transporte de sedimentos en la bahía de Chetumal (Ortiz-Hernández y Saéñz-Morales, 1999; de Jesús-Navarrete *et al.*, 2000; Sánchez *et al.*, 2008). Aun así, esto también podría deberse al diseño de muestreo, ya que los nemátodos no se distribuyen de forma homogénea porque sus preferencias de hábitat se determinan según requisitos específicos (Moens *et al.*, 2013). Por otro lado, las calificaciones IDT, IM y H' difieren de las clasificaciones de calidad ambiental en Río Creek, ya que a veces el uso de índices para evaluar las condiciones ambientales puede ser controvertido (Vincx y Heip, 1987; Bongers *et al.*, 1991; Moreno *et al.*, 2011).

## CONCLUSIÓN

Este estudio ofrece una lista actualizada de los nemátodos costeros de la bahía de Chetumal, lo cual es importante; sin embargo, debe considerarse que, aunque el muestreo fue diseñado considerando un gradiente de salinidad, el pequeño número de muestras podría limitar algunas de nuestras consideraciones expresadas en la discusión debido a un solo día de muestreo. Aun así, nuestros resultados revelaron que el oxígeno disuelto y las fracciones del tamaño de las partículas (arena media y limo) parecen ser factores clave que influyen en los conjuntos de nemátodos en la bahía de Chetumal. En consecuencia, rechazamos la hipótesis de que los nemátodos tengan estructuras diferentes según un gradiente salino. En general, hubo un predominio de nemátodos con estrategia de vida c-p3 y alimentadores de depósitos no selectivos. La diversidad de nemátodos fue baja en lugares cercanos a la ciudad de Chetumal y Río Hondo y mayor en sitios cercanos al mar Caribe, como Bacalar Chico. De manera similar, los sitios cercanos a la ciudad presentan condiciones ambientales

since the nematodes are not distributed homogeneously because their habitat preferences are figured out by specific requirements (Moens *et al.*, 2013). On the other hand, ITD, IM, and H' ratings differ from the rankings of environmental quality in Río Creek, saying that sometimes using indices to evaluate environmental conditions can be controversial (Vincx and Heip, 1987; Bongers *et al.*, 1991; Moreno *et al.*, 2011).

## CONCLUSION

This study provides an updated list of the coastal nematodes of Chetumal Bay, which is important, however, it should be considered that, although the sampling was designed considering a salinity gradient, the small number of samples could limit some of our considerations expressed in the discussion to being only one day of sampling. Even that, our results revealed that dissolved oxygen and particle size fractions (medium sand and silt) appear to be key factors that influence nematode assemblages in Chetumal Bay. Consequently, we reject the hypothesis that nematodes have different structures according to a saline gradient. In general, there was a dominance of nematodes with life strategy c-p3 and non-selective deposit feeders. Nematode diversity was low in sites near the city of Chetumal and Río Hondo and higher in sites close to the Caribbean Sea, such as Bacalar Chico. Similarly, sites close to the city have poor-moderate environmental conditions (except Megaescultura), while those close to the Caribbean Sea show more stable. Lastly, there are variables not considered that could be affecting nematode assemblages, so more studies should be carried out in Chetumal Bay.

de malas a moderadas (excepto Megaescultura), mientras que los cercanos al mar Caribe muestran una mayor estabilidad. Por último, hay variables no consideradas que podrían estar afectando a los ensamblajes de nemátodos, por lo que deberían realizarse más estudios en la bahía de Chetumal.

## AGRADECIMIENTOS

Gracias a Héctor Hernández Arana, Ashleigh Smythe y Miguel Ruiz por sus comentarios que mejoraron sustancialmente el manuscrito. A José Oliva Rivera por su ayuda en la recogida de muestras y Holger Weissenberger dibujó el mapa.

## ACKNOWLEDGEMENTS

Thanks to Héctor Hernández Arana, Ashleigh Smythe, and Miguel Ruiz for their comments that substantially improved the manuscript. To José Oliva Rivera for his help with the collection of samples and Holger Weissenberger drew the map.

## BIBLIOGRAFÍA / LITERATURE CITED

- Adão, H., Alves, A.S., Patrício, J., Neto, J.M., Costa, M.J. and Marques, J.C. (2009). Spatial distribution of subtidal Nematoda communities along the salinity gradient in southern European estuaries. *Acta Oecologica*, 35, pp.287–300. doi: <https://doi.org/10.1016/j.actao.2008.11.007>
- Alongi, D.M. (1987). The influence of mangrove-derived tannins on intertidal meiobenthos in tropical estuaries. *Oecologia*, 71, pp.537–540. doi: <https://doi.org/10.1007/BF00379293>
- Alves, A.S., Veríssimo, H., Costa, M.J. and Marques, J.C. (2014). Taxonomic resolution and Biological Traits Analysis (BTA) approaches in estuarine free-living nematodes. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 138, pp. 69–78. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2013.12.014>
- Aubrey, D.G. (1986). Hydrodynamic controls on sediment transport in well-mixed bays and estuaries. *Physics of shallow estuaries and bays*, 16. doi: <https://doi.org/10.1029/LN016p0245>
- Avalos-Cueva, D., Palacios-Hernández, E., Carrillo, L. and González-Vivanco, L.A. (2017). Numerical models as tools to understand the dynamics in bays: Case of study Chetumal bay, Quintana Roo. *Revista Ra Ximhai*, 13, pp. 26–290.
- Baia, E., Rollnic, M. and Venekey, V. (2021). Seasonality of pluviosity and saline intrusion drive meiofauna and nematodes on an Amazon freshwater-oligohaline beach. *Journal of Sea Research*, 170, p.102022. doi: <https://doi.org/10.1016/j.seares.2021.102022>
- Bongers, T. (1999). The maturity index, the evolution of nematode life history traits, adaptive radiation and cp-scaling. *Plant and Soil*, 212, pp. 13–22. <https://doi.org/10.1023/A:1004571900425>
- Bongers, T., Alkemade, R. and Yeates, G.W. (1991). Interpretation of disturbance-induced maturity decrease in marine nematode assemblages by means of the Maturity Index. *Marine Ecology Progress Series*, 76, pp. 135–142. doi: <https://doi.org/10.3354/meps076135>
- Boucher, G. and Lamshead, P.J.D. (1995). Ecological biodiversity of marine nematodes in samples from temperate, tropical, and deep-sea Regions. *Conservation Biology*, 9(6), pp.1 594–1604. <http://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1995.09061594.x>
- Buchanan, J.B. (1971). Measurement of physical and chemical environment. pp.38–50. In: Holme N.A. and A.D. McIntyre. (eds). *Methods for the study of marine benthos*. IBP Handbook N° 16 Blackwell, Londres.
- Buys, B., Derycke, S. De Meester, N. and Moens, T. (2021). Colonization of macroalgal deposits by estuarine nematodes through air and potential for rafting inside algal structures. *PLoS ONE*, 16(4), p.e0246723. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0246723>
- Carrillo, L., Palacios-Hernández, E., Ramírez, A.M. y Morales-Vela, B. (2009). “Características hidrometeorológicas y batimétricas,” en el sistema ecológico de la bahía de Chetumal/Corozal: costa occidental del mar Caribe. En: Espinoza, J., Islebe, G. and Hernández, H. (Eds.). “Bahía Chetumal/ Corozal: diversidad biológica y análisis ambiental en la frontera México-Belice”, ECOSUR. pp.12–20.
- Castillo-Fernández, D. and Lamshead, P.J.D. 1990. Revision of the genus *Elzalia* Gerlach, 1957. (Nematoda: Xyalidae) including three new species from an oil producing zone in the Gulf of Mexico, with a discussion of the sibling gulf problem. *Bulletin of the British Museum (Natural History)*, 56(1), pp.63–71.
- Chen, C.A., Long, S.M. and Rosli, N.M. (2012). Spatial distribution of tropical estuarine nematode communities in Sarawak, Malaysia (Borneo). *Raffles Bulletin of Zoology*, 60(1), pp.173–181. doi:<http://doi.org/10.51200/bjomsa.v3i2.1995>
- Chitwood, B.G. and Timm, R.W. (1954). Free-living nematodes of the Gulf of Mexico. pp.313–322. In: Galtsoff, P.S. (ed.). *Gulf of Mexico: Its origin, waters and marine life*. *Fishery Bulletin. Fish and Wildlife Service*, Washington. p.55.
- Clarke, K.R. and Ainsworth, M. (1993). A method of linking multivariate community structure to environmental variables. *Marine Ecology Progress Series*, 92, pp.205–219.
- Clarke, K.R. and R.N. Gorley, R.N. (2006). *PRIMER V6: User Manual/Tutorial. PRIMER-E*, Plymouth.
- Danovaro, R. and Gambi, C. (2002). Biodiversity and trophic structure of nematode assemblages in seagrass systems: evidence for a coupling with changes in food availability. *Marine Biology*, 141, pp.667–677. doi: <https://doi.org/10.1007/s00227-002-0857-y>
- Day, J., W. Kemp, A. Yáñez-Arancibia and B. Kemp. (2012). *Estuarine ecology*. Wiley-Blackwell, New Jersey, p.550.
- de Jesús Navarrete, A. (1993a). Distribución, abundancia y diversidad de nematodos (Phylum Nematoda) bénticos en la sonda de Campeche, México, enero de

1987. *Revista de Biología Tropical*, 41(1), pp.57–63.
- de Jesús-Navarrete, A. (1993b). Nematodos (Nematoda) de la laguna de Buena Vista, Quintana Roo, México. *Revista de Biología Tropical*, 41, pp. 649–652.
- de Jesús-Navarrete, A. and Álvarez-Legorreta, T.A. (2022). Biological traits analysis of free-living nematodes as indicators of environmental quality at Lake Bacalar, Mexico. *Limnology*, 23, pp. 355–364. doi: <https://doi.org/10.1007/s10201-021-00693-9>
- de Jesús-Navarrete, A. y Góngora-Pech, V. (2008). Distribución y abundancia de los nematodos en el gradiente salino río Hondo-Bacalar Chico. En: Espinoza, J., G. Islebe and H. Hernández (eds.). *Bahía Chetumal / Corozal: diversidad biológica y análisis ambiental en la frontera México-Belice*, ECOSUR.
- de Jesús-Navarrete, A. y Herrera-Gómez, J. (1999). Nematodos de la Bahía de Chetumal, Quintana Roo, México. *Revista de Biología Tropical*, 47(4), pp. 867–875.
- de Jesús-Navarrete, A. and Herrera-Gómez, J. (2002). Vertical distribution and feeding type of nematodes from Chetumal Bay, Quintana Roo, Mexico. *Estuaries*, 25(6), pp. 1131–1137. doi: <https://doi.org/10.1007/BF02692210>
- de Jesús-Navarrete, A. and Vargas-Espósitos, A.A. (2026). Nematode assemblages associated to littoral submerged aquatic vegetation at the Bacalar Lake, Quintana Roo, Mexico. *Limnologia*, 116, p.126310. doi: <https://doi.org/10.1016/j.limno.2026.126310>
- de Jesús-Navarrete, A., Oliva Rivera, J.J. Valencia-Beltrán, V. y Quintero-López, N. (2000). Distribución de sedimentos en la Bahía de Chetumal, Quintana Roo, México. *Hidrobiológica*, 10, pp. 61–67.
- Elliot, M., Day, J.W., Ramachandran, R. and Wolansky, E. (2019). A synthesis: What is the future for coasts, estuaries, deltas and other transitional habitats in 2050 and beyond? In: Wolansky, E., J.W. Day, M. Elliot and R. Ramachandran (Eds.). *Coast and estuaries, the future*. Elsevier, p. 677. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814003-1.00001-0>
- García-Ríos, V. and Gold-Bouchot, G. (2003). Trace metals in sediments from Bahía de Chetumal, Mexico. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 70, pp.1228–1234. doi: <https://doi.org/10.1007/s00128-003-0113-2>
- Giere, O. (2009). Meiobenthology: The microscopic motile fauna of aquatic sediments, 2<sup>nd</sup> ed. Springer, Berlin. doi: <http://doi.org/10.1007/978-3-540-68661-3>
- Gourbault, N. and Decraemer, W. (1986). Nematodes marins de Guadeloupe, Epsilonematidae des genres nouveaux *Metaglochinnema* n. g. (Glochinetmatinae) et *Keratonema* n.g. (Keratonematinae n. subfam.). *Bulletin du Muséum National d'Histoire Naturelle*. Paris, 4 ser. 8, secc. A. No 1, pp. 171–1183.
- Hammer, Ø., Harper, D. and Ryan, P. (2001). *Past: Paleontological statistics software package for education and data analysis*. Palaeontologia. Electronica, 4, p. 9.
- Heip, C., Vincx, M. and Vranken, G. (1985). The ecology of marine nematodes. *Oceanography and Marine Biology An Annual Review*, 23, pp. 399–489.
- Hodda, M. (1984). *Population processes in estuarine littoral nematodes*. MSc thesis, A.N.U., Canberra. p. 187.
- Hopper, B.E. (1961). Marine nematodes from the coastline of the Gulf of México. *Canadian Journal of Zoology*, 39, pp.183–199.
- Hopper, B.E. and Cefalu, R.C. (1973). Free-living marine nematodes from Biscayne Bay, Florida. VII. Enoplidae: *Enoplus* species in Biscayne Bay with observations on the culture and bionomics of *E. paralittoralis* Wieser, 1953. *Proceedings of the Helminthological Society of Washington*, 40(2), pp. 275–280.
- Hua, E., Zhu, Y., Huang, D. and Liu, X. (2021). Are free-living nematodes effective environmental quality indicators? Insights from Bohai Bay, China. *Ecological Indicators*, 27, p.107756. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107756>
- Hua, E., He, L., Zhang, Z., Cui, C. and Liu, X. (2023). Bioassessment of environmental quality based on taxonomic and functional traits of marine nematodes in the Bohai Sea, China. *Marine Pollution Bulletin*, 190, p.114884. doi: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.114884>
- Jensen, P. (1985). The nematode fauna in the sulphide-rich brine seep and adjacent bottoms of the East Flower Garden, NW Gulf of México. I. Chromadoria. *Zoologica Scripta*, 14(4), pp. 247–263.
- Karim, M.A., Zhou, H., Uddin, S.M., Montero-Taboada, R. Jiang, Q. and Zeng, R. (2024). Species diversity and functional trait-based approaches in ecological assessment utilizing free-living marine nematodes in Jiaozhou Bay, China. *Marine Pollution Bulletin*, 209(PtA), p.117178. doi: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.117178>
- Keppner, E.J. (1986). New species of free-living marine nematodes (Nematoda:Enoplida) from Bay County, Florida, USA. *Transactions of the American Microscopical Society*, 105(4), pp.319–337.
- Liu, X.S., Zhang, Z.N. and Huang, Y. (2007). Sublittoral meiofauna with particular reference to nematodes in the southern Yellow Sea, China. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 71(3), pp. 616–628. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2006.09.013>
- Majdi, N., Schmid-Araya, J.M. and Traunspurger, W. (2020). Preface: patterns and processes of meiofauna in freshwater ecosystems. *Hydrobiologia*, 847, pp. 2587–2595. doi: <https://doi.org/10.1007/s10750-020-04301-2>
- McLusky, D.S. and Elliot, M. (2004). The estuarine ecosystem. Oxford University Press. p. 214
- Milovankina A.A. and Fadeeva, N. (2019). Spatial distribution of nematode communities along the salinity gradient in the two estuaries of the Sea of Japan. *Russian Journal of Nematology*, 27(1), pp. 1–12.
- Moens, T., Braeckman, U., Derycke, S., Fonseca, G., Gallucci, F., Gingold, R., Guilini, K., Ingels, J., Leduc, D., Vanaverbeke, J., Van Colen, C., Vanreusel, A. and Vincx, M. (2013). Ecology of free-living marine nematodes. In: Schmidt- Rhaesa, A. (Ed.). *Handbook of Zoology: Gastrotricha, Cycloneuralia and Gnathifera, 2: Nematoda*. Berlin. pp. 109–152. doi: <http://doi.org/10.1515/9783110274257.109>
- Moreno, M., Semprucci, F., Vezzulli, L., Balsamo, M., Fabiano, M. and Albertelli, G. (2011). The use of nematodes in assessing ecological quality status in the Mediterranean coastal ecosystems. *Ecological Indicators*, 11, pp. 328–336. doi: <http://doi.org/10.1016/j.ecolind.2010.05.011>
- Nemys (eds). (2025). *Nemys: World Database of Nematodes*. Accessed at <https://nemys.ugent.be> on 2025-08-25.
- Nguyen, Q.T.D., Ueda, R., Mori, F., Kang, T., Kim, D., Shimanaga, M. and Wada, M. (2018). Response of nematode community structure to hypoxia in an enclosed coastal sea, Omura Bay, for three consecutive years. *Plankton Benthos Research*, 13(2), pp. 1–7. doi: <https://doi.org/10.3800/pbr.13.59>
- Ortiz-Hernández, M.C. and Sáenz-Morales, R. (1999). Effects of organic material

- and distribution of fecal coliforms in Chetumal Bay, Quintana Roo, Mexico. *Environmental Monitoring and Assessment*, 55, pp. 423–434. doi: <https://doi.org/10.1023/A:1005939100154>
- Pareja-Román, L.F., Orton, P.M. and Talke, S.A. (2023). Effect of estuary urbanization on tidal dynamics and high tide flooding in a coastal lagoon. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 128, p.e2022JC018777. doi: <https://doi.org/10.1029/2022JC018777>
- Platt, H.M. and Warwick, R.M. (1980). The significance of free-living Nematodes to the littoral ecosystem. *Shore Environment*, 2, pp. 729–759.
- Platt, H.M. and Warwick, R.M. (1983). *A synopsis of the Free-living marine nematodes*. Part I. British Enoplids. Cambridge University Press.
- Sánchez, A., Álvarez-Legorreta, T., Sáenz-Morales, R., Ortiz-Hernández, M.C., López-Ortiz, B.E. y Aguiñiga, S. (2008). Distribución de parámetros texturales de los sedimentos superficiales en la Bahía de Chetumal: Implicaciones en la inferencia de transporte. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 25(3), pp. 523–532.
- Schratzberger, M., Warr, K. and Rogers, S.I. (2007). Functional diversity of nematode communities in the southwestern North Sea. *Marine Environmental Research*, 63, pp. 368–389. doi: <http://doi.org/10.1016/j.marenvres.2006.10.006>
- Schratzberger, M., Holteman, M., van Oevelen, D. and Helder, J. (2019). A worm's world: Ecological flexibility pays off for free-living nematodes in sediments and soils. *Bioscience*, 69, pp. 867–876. doi: <http://doi.org/10.1093/biosci/biz086>
- Séller B.D. and Causey, B.D. (2005). Linkages between the Florida Keys National Marine Sanctuary and the South Florida Ecosystem Restoration Initiative. *Ocean and Coastal Management*, 48, pp. 869–900. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2005.03.008>
- Semprucci, F., Balsamo, M. and Frontalini, F. (2014). The nematode assemblage of a coastal lagoon (Lake Varano, southern Italy): ecology and biodiversity patterns. *Scientia Marina*, 78(4), pp. 579–588. doi: <https://doi.org/10.3989/scimar.04018.02A>
- Sroczyńska, K., Chainho, P., Vieira, S. and Adão, H. (2021a). What makes a better indicator? Taxonomic vs functional response of nematodes to estuarine gradient. *Ecological Indicators*, 121, pp.107113. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107113>
- Sroczyńska K., Conde, A., Chainho, P. and Adão, H. (2021b). How nematode morphometric attributes integrate with taxonomy-based measures along an estuarine gradient. *Ecological Indicators*, 124, pp.107384. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107384>
- Taheri, M., Grego, M., Riedel, B., Vincx, M. and Vanaverbeke, J. (2015). Patterns in nematode community during and after experimentally induced anoxia in the northern Adriatic Sea. *Marine Environmental Research*, 110, pp.110–123. doi: <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2015.08.004>
- Tarjan, A.C. (1980). *An illustrated guide to the marine nematodes*. Institute of Food and Agricultural Sciences. University of Florida.
- Tchesunov, A. and Thanh, N.V. (2010). A description of *Anoplostoma nhatrangensis* sp. n. from mangrove habitats of Nha Trang, Central Vietnam, with a review of the genus *Anoplostoma* Butschli, 1874 (Nematoda: Enoplida). *Invertebrate Zoology*, 7(2), pp. 93–105.
- Teeter, A.M., Johnson, B.H. Berger, C., Stelling, G., Scheffner, N.W., García, M.H. and Parchure, T.M. (2001). Hydrodynamic and sediment transport modeling with emphasis on shallow-water, vegetated areas (lakes, reservoirs, estuaries and lagoons). *Hydrobiologica*, 444, pp. 1–23. doi: <https://doi.org/10.1023/A:1017524430610>
- Udalov, A.A., Mokievskii, V.O. and Chertoprud, E.S. (2005). Influence of the salinity gradient on the distribution of meiobenthos in the Chernaya River Estuary (White Sea). *Oceanology*, 45(5), pp. 680–688.
- Vargas-Espósitos, A.A., de Jesús-Navarrete, A., Pérez-Pech, W.A., Pech, D., Rocha-Olivares, A. and Martínez-Mendoza, I. (2023). Free-living nematode assemblages along a water-depth gradient in the Perdido belt, northwestern Gulf of Mexico. *Regional Studies in Marine Science*, 63, pp. 2352–4855. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2023.103006>
- Vásquez-Yeomans, L., Castellanos, I., Suárez-Morales, E. y Gasca, R. (2012). Variación espacio-temporal de la biomasa de zooplancton en un sistema estuarino del Caribe Occidental durante dos ciclos anuales. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 47(2), pp. 213–225. doi: <https://doi.org/10.4067/S071819572012000200005>
- Villares, G. and Pastor de Ward, C. (2020). Increased biomass of free-living marine nematodes may be indicative of disturbances in the ecosystem of the San Antonio Bay. *Open Journal of Environmental Biology*, 5(1), pp.1–6. doi: <https://doi.org/10.17352/ojeb.000014>
- Vincx, M. (1996). Meiofauna in marine and freshwater sediments. In: Hall, G.S. (ed.). *Methods for the examination of organismal diversity in soil and sediments*. CAB International.
- Vincx, M. and Heip, C. (1987). The use of meiobenthos in pollution monitoring studies: a review. In: *ICES, CM E33L* (1166). pp. 1–18.
- Walsham, P., Aminot, A., Rey, F., Andreasson, K., Borges, C., Smith, K., Parmentier, K., Crum, S., Creach, V. and Latasa, M. (2020). Determination of chlorophyll in seawater. *Techniques in Marine Environmental Sciences*, 66, p.28. doi: <https://doi.org/10.17895/ices.pub.20207798>
- Warwick, R.M. (1971). Nematode associations in the Exe estuary. *Journal of the Marine Biological Association UK*, 51, pp.439–454.
- Wieser, W. (1953). Die beziehung zwischen mundhöhlengestalt, ernährungsweise und vorkommen bei freilebenden marinen nematoden. Eine skologisenmorphologische studie. *Arkiv för zoologi*, 4, pp. 439–484.
- Wu, X., Vanreusel, A., Hauquier, F. and Moens, T. (2019). Environmental drivers of nematode abundance and genus composition at two spatial scales on an estuarine intertidal flat. *Hydrobiologia*, 846, pp.193–214. doi: <https://doi.org/10.1007/s10750-019-04064-5>

