



UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS

INSTITUTO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

TESIS

Diversidad y abundancia de
zooplancton y presencia de
microplásticos en la laguna Mar
Muerto, México

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADO EN **BIOLOGÍA**

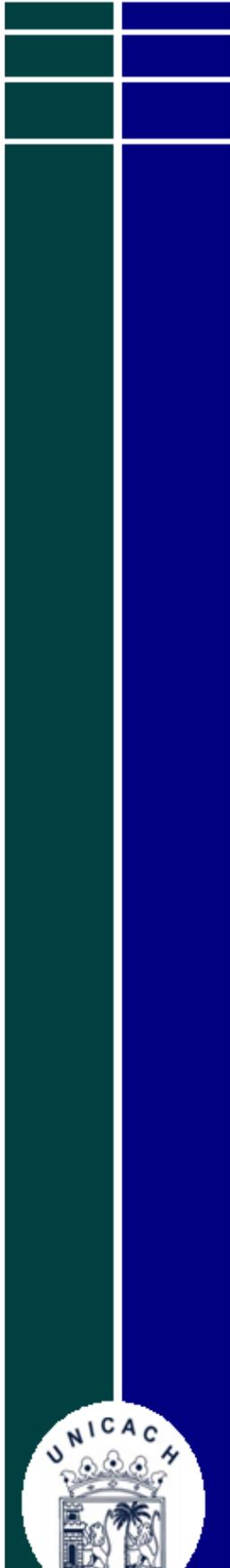
PRESENTA

LUZ IVONNE PÉREZ GÓMEZ



Tuxtla Gutiérrez, Chiapas

Noviembre de 2024



UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS

INSTITUTO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

TESIS

Diversidad y abundancia de zooplancton
y presencia de microplásticos en la
laguna Mar Muerto, México

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADO EN BIOLOGÍA

PRESENTA

LUZ IVONNE PÉREZ GÓMEZ

DIRECTOR

Dr. Miguel Ángel Peralta Meixueiro

INSTITUTO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS – UNICACH

ASESORES

Dr. Gustavo Rivera Velázquez

INSTITUTO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS – UNICACH

Dr. Gerardo Aceves Medina

CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS – CICIMAR

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas

Noviembre de 2024





UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS
SECRETARÍA GENERAL
DIRECCIÓN DE SERVICIOS ESCOLARES
DEPARTAMENTO DE CERTIFICACIÓN ESCOLAR
AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

Lugar: Tuxtla Gutiérrez, Chiapas;
Fecha: 05 de noviembre de 2024

C. Luz Ivonne Pérez Gómez

Pasante del Programa Educativo de: Licenciatura en Biología

Realizado el análisis y revisión correspondiente a su trabajo recepcional denominado:
Diversidad y abundancia de zooplancton y presencia de microplásticos en la laguna

Mar Muerto, México.

En la modalidad de: Tesis Profesional

Nos permitimos hacer de su conocimiento que esta Comisión Revisora considera que dicho documento reúne los requisitos y méritos necesarios para que proceda a la impresión correspondiente, y de esta manera se encuentre en condiciones de proceder con el trámite que le permita sustentar su Examen Profesional.

ATENTAMENTE

Revisores

Dra. Sara Elizabeth Domínguez Cisneros

Mtro. Reynaldo Moctezuma Román

Dr. Miguel Angel Peralta Meixueiro

Firmas:

Ccp. Expediente

AGRADECIMIENTOS

A mi director, al Dr. Miguel Ángel Peralta Meixueiro, gracias por haber aceptado en dirigir mi tesis, y por todo su apoyo a lo largo de este proyecto, por sus consejos y enseñanzas, que siempre lo tengo presente y por supuesto su amistad.

A mi asesor, al Dr. Gustavo Rivera Velázquez, por participar en este proyecto, en aceptar en ser asesor de mi tesis, y en proporcionarme su material y su espacio en el Laboratorio de Acuicultura y Evaluación Pesquera, y por explicarme lo mejor posible.

A mi asesor, al Dr. Gerardo Aceves Medina del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, (CICIMAR), Gracias por todo su apoyo, ha sido una pieza clave en este proyecto de investigación, por dedicarme su tiempo y su paciencia y por enseñarme todo lo que ahora sé, del zooplancton.

Al Programa para el Desarrollo Profesional Docente (PRODEP) por la financiación del proyecto de investigación en los muestreos en la laguna.

Al M. C. José Manuel Aguilar Ballinas, del Laboratorio de Acuicultura y Evaluación Pesquera, gracias por su apoyo con sus equipos de laboratorio y dedicarse el tiempo para tratar de ayudarme y enseñarme algunas herramientas de muestreo.

Al M. C Indra María Álvarez Ramírez, del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, (CICIMAR), gracias por brindarme su amistad, y sus consejos de vida y dedicarse el tiempo en apoyarme en todo.

Al Dr. Yadian Israel La Rosa- Izquierdo, del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, (CICIMAR), gracias por dedicarse el tiempo en apoyarme y enseñarme sobre la identificación de los copépodos y brindarme su amistad.

Al M. C Ricardo Javier Saldierna Martínez, del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, (CICIMAR), gracias por brindarme su apoyo y enseñanza sobre la identificación de los huevos y larvas de peces.

Al Dr. Ricardo Palomares García, del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, (CICIMAR), por apoyarme en la verificación en las especies de quetognatos.

Al Dr. Sergio Hernández- Trujillo, del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, (CICIMAR), por brindarme su apoyo en la identificación de un género de copépodo.

Al Dr. Felipe Galván Magaña, del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, (CICIMAR), y su tesista Jaquelin. Por brindarme sus apoyos, en la explicación de métodos en los microplásticos y la importancia que tiene en los ecosistemas.

A la Dra. Genoveva Cerdaneres Ladrón Guevara Universidad del Mar (UMAR) y la **M. C** Gabriela González Medina, por permitirme el uso de sus instalaciones en el Laboratorio de Ictiología y Biología Pesquera.

A mis amigas, Idelma de Jesus, Fátima de Jesus, Dinorah Berenice, Fabiola del Rocío, Erika Esmeralda, Andrea Lizeth, que siempre me han sido muy lindas en impulsarme a seguir, las quiero chicas.

DEDICATORIA

A DIOS

Por brindarme la fuerza en todo momento.

A MIS PADRES

Que me han enseñado a ser la persona que soy, en mis valores, mi perseverancia y mi empeño. A mi mamá, por tener su apoyo incondicional, y ser un ejemplo de superación. Sin usted no hubiera realizado la tesis, gracias por ser mi sostén y mi ayuda en las estancias realizadas. A mi Papá, por estar presente en todo momento.

A MIS HERMANAS

A Ingrid Berenice, Giselle y Naydelin por tenerlas a mi lado y siempre incentivar me en seguir, demostrándome con sus palabras de aliento y su apoyo, además de saber que mis logros también son suyos, las quiero mucho.

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	4
2.1. Zooplancton.....	4
2.2. Grupos principales de zooplancton.....	5
2.2.3. Copépodos.....	5
2.2.4. Decápodos.....	8
2.2.5. Quetognatos	10
2.2.6. Peces	12
2.3. Sistemas lagunares costeros	13
2.4. Abundancia	13
2.5. Riqueza	14
2.6. Diversidad	15
2.7. Microplásticos.....	15
III. ANTECEDENTES	17
IV. OBJETIVOS	25
V. HIPOTÉISIS.....	25
VI. ZONA DE ESTUDIO	26
6.1. Características físicas.....	27
6.1.1. Aspectos climatológicos.....	27
6.1.2. Estacionalidad.....	27
6.1.3. Tipos de suelos	28
6.1.4. Tipo de humedal.....	28
6.2. Descripción biológica del sitio	28
6.2.1. Vegetación.....	28
6.2.2. Fauna.....	29
6.2.3. Importancia biológica del sitio.....	29
VII. MÉTODO	30
7.1. Trabajo de campo.....	30

7.2 Trabajo de laboratorio.....	30
7.2.1. Riqueza.....	32
7.2.2. Diversidad.....	32
7.2.3. Índice de Pielou.....	33
7.2.4. Dominancia.....	34
7.2.5. Índice de valor de importancia (IVI).....	34
7.2.6. Clasificación de los subsistemas hidrológicos	36
7.2.7. Análisis de similitud (ANOSIM) y Porcentaje de similitud (SIMPER).....	36
7.2.8. Análisis cuantitativo en los microplásticos	36
VIII.RESULTADOS.....	38
8.1.Composición taxonómica	39
8.2. Biomasa zooplanctónica.....	42
8.3. Porcentaje de composición de especies.....	43
8.4. Dominancia de especies en (IVI).....	45
8.5. Parámetros comunitarios	46
8.6. Clasificación de los subsistemas hidrológicos con relación a los parámetros físicoquímicos	48
8.7. Distribución espacial con respecto a los subsistemas hidrológicos.....	51
8.8. Relación de los subsistemas hidrológicos con el zooplancton.....	53
8.9 Análisis de ANOSIM.....	60
8.10. Análisis de SIMPER.....	61
8.11. Microplásticos.....	62
8.12. Variaciones temporales de los microplásticos.....	62
8.13. Clasificación de los microplásticos.....	63
8.14. Clasificación del microplásticos con respecto a los subsistemas hidrológicos.....	65
8.15. Clasificación de colores de los microplásticos.....	67
8.16. Clasificación de los colores del microplástico con respecto a los subsistemas.....	68
IX. DISCUSIÓN.....	71
9.1. Composición y abundancia zooplactónica	71

9.2. Variabilidad de la biomasa.....	75
9.3. Porcentaje de composición de especies	76
9.4. Dominancia de especies en (IVI)	77
9.5 Parámetros comunitarios.....	78
9.6. Subsistemas hidrológicos.....	79
9.7. Distribución espacial con el ambiente.....	81
9.8. Relación de los subsistemas hidrológicos con el zooplancton.....	82
9.8.1 Copépodos	83
9.8.2 Decápodos	84
9.8.3 Quetognatos	86
9.8.4 Peces.....	87
9.9. Análisis de ANOSIM y SIMPER dentro de los subsistemas.....	89
9.10. Distribución del microplástico.....	90
9.11. Variaciones temporales del microplástico.....	92
9.12. Clasificación de los microplásticos.....	93
9.13. Clasificación del microplásticos con respecto a los subsistemas hidrológicos.....	94
9.14. Colores de los microplásticos.....	95
9.15. Clasificación de los colores del microplástico con respecto a los subsistemas.....	96
X. CONCLUSIONES	98
XI. RECOMENDACIONES.....	101
XII. REFERENCIAS DOCUMENTALES.....	102
ANEXOS.....	120
Anexo I.....	120
Anexo II	137
Anexo III	141
Anexo IV.....	144

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Orden sistemático de las especies registradas de zooplancton marino dentro de la laguna Muerto, México.....	39
Cuadro 2. Análisis de los parámetros comunitarios espacial en las 12 estaciones de muestreo	47
Cuadro 3. Análisis de los parámetros comunitarios temporales en meses marzo (secas), junio (inicio de lluvias)	47
Cuadro 4. De los tres subsistemas, se presenta los valores promedio de cada uno de los parámetros fisicoquímicos de marzo (secas).	49
Cuadro 5. De los tres subsistemas, se presenta los valores promedio de cada uno de los parámetros fisicoquímicos de junio (inicio de lluvias)	50
Cuadro 6. Análisis de similitudes (SIMPER) en los subsistemas, demostrando los organismos que más contribuyeron a las diferencias	61
Cuadro 7. De los tres subsistemas, se presentan los valores promedio de los microplásticos mediante sus tres formas en temporada de secas (marzo).....	66
Cuadro 8. De los tres subsistemas, se presenta los valores promedio de los microplásticos mediante sus tres formas en temporada en inicio de lluvias (junio).....	66
Cuadro 9. De los tres subsistemas, se presentan los valores promedio de cada uno de los colores presentes de los microplásticos en temporada de secas (marzo)	69
Cuadro 10. De los tres subsistemas, se presenta el promedio de cada uno de los colores presentes del microplástico en temporada de inicio de lluvias (junio).....	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Morfología en general de un copépodo calanoide A) Tagmosis dorsal y B) ventral mostrando sus apéndices cefálicos y torácicos insertados en los diferentes segmentos (modificado de Owre y Foyo, 1967 y de campos y Suarez-Morales, 1994a, citado en Palomares <i>et. al.</i> 1998)	7
Figura 2. Larvas y postlarvas de decápodos indicando las principales estructuras, espinas y apéndices. 1: zoea IV de Brachyura Grapsidae; 2: mysis II y 3: postlarvas I de Penaeoidea Solenoceridae (Gasca y Suárez-Morales 1996)	9
Figura 3. Anatomía general de los quetognatos. A) <i>Saggita elegans</i> (vista ventral). B) El quetognato bentónico <i>Spadella</i> (vista dorsal), (Brusca y Brusca, 2005)	11
Figura 4. Etapa de posflexión de una larva de pez que muestran características anatómicas y morfométricas ampliación arriba de las espinas de la cabeza (Moser, 1996)	12
Figura 5. Localización del área de estudio Laguna Mar Muerto, México, así como las 12 estaciones correspondientes de muestreo.....	26
Figura 6. Abundancia total del zooplancton en la laguna Mar Muerto, México	39
Figura 7. Abundancia de las familias más numerosas del zooplancton de la laguna Mar Muerto, México.....	39
Figura 8. Variaciones temporales de la biomasa zooplanctónica en los meses de muestreo, A) marzo y B) junio en la laguna Mar Muerto, México.....	43
Figura 9. Porcentaje de composición de especies del zooplancton A) marzo (secas) y B) junio (lluvias).....	44
Figura 10. Porcentaje total en la composición del zooplancton en ambas temporadas (secas e inicio de lluvias)	45
Figura 11. Las especies dominantes con el (IVI) modificado, indicando de mayor a menor las especies presentes del zooplancton marino	46

Figura 12. Esquema de los subsistemas ecológicos en la laguna Mar Muerto, que comprende a las 12 estaciones indicando en que subsistema corresponden, (Verde: Eurihalino, Café: Transición y Azul: Marino)	48
Figura 13. Mapas de distribución espacial en la temporada de secas (marzo), con respecto a sus subsistemas hidrológicos en la laguna Mar Muerto, México.....	51
Figura 14. Mapas de distribución espacial en la temporada de junio (lluvias), con respecto a los subsistemas hidrológicos en la laguna Mar Muerto	52
Figura 15. Mapa de distribución de <i>A. lilljeborgii</i> , con respecto a los subsistemas hidrológicos de la laguna Mar Muerto, México.....	53
Figura 16. Mapa de distribución de la especie <i>L. acuta</i> , con respecto a los subsistemas hidrológicos de la laguna Mar Muerto, México.....	54
Figura 17. Mapa de distribución de la especie <i>L. vannamei</i> , con respecto a los subsistemas hidrológicos de la laguna Mar Muerto, México.....	55
Figura 18. Mapa de distribución de <i>Callinectes</i> con respecto a los subsistemas hidrológicos en la laguna Mar Muerto, México.....	56
Figura 19. Mapa de distribución de la especie <i>P. euneritica</i> con respecto a los subsistemas hidrológicos en la laguna Mar Muerto, México.....	57
Figura 20. Mapa de distribución de la especie <i>E. gracilis</i> , con respecto a los subsistemas hidrológicos en la laguna Mar Muerto, México	58
Figura 21. Mapa de distribución de los huevos de la familia Carangidae/H, con respecto a los subsistemas hidrológicos en la laguna Mar Muerto, México.....	59
Figura 22. Resultados de (ANOSIM) presentándose en diagrama de caja de los subsistemas (Grupo 1: Eurihalino, Grupo 2: Transición y Grupo 3: Marino)	60
Figura 23. Promedio total de ambas temporadas de muestreo secas e inicio de lluvias, en las 12 estaciones.....	62

Figura 24. Variaciones temporales de los MP, distribuidos en sus 12 estaciones de muestreo, así como sus temporadas A) secas (marzo) y B) inicio de lluvias (junio).....	63
Figura 25. Imágenes de las tres formas de clasificación del microplásticos A) Fibra, B) lámina (fragmentos) y C) gránulos presentes en la laguna Mar Muerto, México.....	64
Figura 26. Clasificación del microplástico dentro de las estaciones con sus respectivos valores promedios en sus tres formas (fibra, lámina y gránulo) obtenidos en la laguna Mar Muerto, México.	64
Figura 27. Frecuencia de aparición de las categorías clasificadas de partículas de los microplásticos (fibra, lámina y granulo) y en porcentajes.....	65
Figura 28. Clasificación de los colores presentes dentro de las 12 estaciones, en la laguna Mar Muerto, México.....	67
Figura 29. Frecuencia de los colores obtenidos, en las muestras analizadas con un total de 10 colores	68

RESUMEN

Las costas de Chiapas y Oaxaca, incluyendo sus sistemas lagunares, poseen pocos trabajos recientes sobre zooplancton marino. Debido a ello se estudió la diversidad y abundancia de zooplancton y la presencia de microplásticos de la laguna Mar Muerto. Se recolectaron muestras de zooplancton en las 12 estaciones de dos temporadas del 2021: marzo (secas) y junio (inicio de lluvias), mediante arrastres superficiales con una red cónica de 363 μm . Se identificaron cuatro grupos (copépodos, decápodos, quetognatos y larvas de peces) con una abundancia estandarizada total de 60 437 org/100 m^3 . Se obtuvieron 18 familias, 18 géneros, ocho especies de copépodos, tres de decápodos, dos de quetognatos y cuatro de peces. El valor promedio de biomasa más alto ocurrió en marzo (0.0171 ml/100 m^3) y más bajo en junio (0.0151 ml/100 m^3). Las especies más abundantes fueron *L. vannamei*, con (18.65%), *A. lilljeborgii* en (16.32%), y *P. euneritica* con (11.23%). El índice de valor de importancia modificado mostró como *taxa* dominantes, a *L. vannamei*, *A. lilljeborgii*, *P. euneritica*, el género *Callinectes* y huevos de Carangidae/H. Los valores más altos de los índices ecológicos fueron de 2.04 para Shannon-Wierner, 1.64 para Margalef, 0.84 para Simpson y 0.86 para equidad. Los gradientes de temperatura, salinidad, pH y oxígeno disuelto se relacionaron con la dinámica que mantiene la laguna dividida en tres subsistemas hidrológicos (eurihalino, transición y marino). Las características ambientales de estos subsistemas determinaron que las especies *A. lilljeborgii*, *L. vannamei*, *F. californiensis*, *P. euneritica* y *Callinectes*, fueran más abundantes, en el subsistema marino. El ANOSIM, mostró diferencias significativas de la abundancia zooplanctónica entre los subsistemas ($p < 0.0051$). La prueba SIMPER estimó el 70% de disimilitud en promedio, con cinco especies en cada subsistema, indicando a *A. lilljeborgii*, *L. vannamei*, *L. acuta* y el género *Callinectes* y huevos de Carangidae. La abundancia total de microplásticos, fue 9 614 MP/100 m^3 . Su valor más alto fue en lluvias (1 903 MP/100 m^3) en el subsistema eurihalino, constituido en 51% por fibras y siendo el color transparente el más abundante.

Palabras clave: copépodos, decápodos, quetognatos, huevos y larvas de peces.

ABSTRACT

The coasts of Chiapas and Oaxaca, including their lagoon systems, have few recent studies on marine zooplankton. Therefore, the diversity and abundance of zooplankton and the presence of microplastics in the Mar Muerto lagoon were studied. Zooplankton samples were collected in 12 stations in two seasons of 2021: March (dry) and June (onset of rains), using surface trawls with a 363 μm conical net. Four groups were identified (copepods, decapods, quetognathans and fish larvae) with a total standardized abundance of 60 437 org/100 m^3 . There were 18 families, 18 genera, eight species of copepods, three of decapods, two of quetognathans and four of fish. The highest average biomass value occurred in March (0.0171 ml/100 m^3) and the lowest in June (0.0151 ml/100 m^3). The most abundant species were *L. vannamei*, (18.65%), *A. lilljeborgii* (16.32%) and *P. euneritica* (11.23%). The modified importance value index showed *L. vannamei*, *A. lilljeborgii*, *P. euneritica*, *Callinectes* and Carangidae eggs as dominant *taxa*. The highest values of the ecological indices were 2.04 for Shannon-Wiener 1.64 for Margalef, 0.84 for Simpson and 0.86 for evenness. Gradients of temperature, salinity, pH and dissolved oxygen were related to the dynamics maintained by the lagoon divided into three hydrological subsystems (euryhaline, transitional and marine). The environmental characteristics of these subsystems determined that *A. lilljeborgii*, *L. vannamei*, *F. californiensis*, *P. euneritica* and *Callinectes* were more abundant in the marine subsystem. ANOSIM showed significant differences in zooplankton abundance among the three subsystems ($p < 0.0051$). The SIMPER test estimated 70% dissimilarity on average, with five species in each subsystem, indicating *A. lilljeborgii*, *L. vannamei*, *L. acuta*, *Callinectes* and Carangidae eggs. The total abundance of microplastics was 9 614 MP/100 m^3 . Its highest value was in rainfall (1 903 MP/100 m^3) in the euryhaline subsystem, 51% of which consisted of fibers, with the transparent color being the most abundant.

Keywords: copepods, decapods, chaetognaths, fish larvae and eggs.

I. INTRODUCCIÓN

México cuenta con 11 600 km rodeado por una línea litoral, en la que se distribuyen entre 125 y 130 lagunas costeras con una superficie de 1 567 000 ha (Lankford, 1977; Castañeda y Contreras, 2004). El océano Pacífico posee una extensión de 892 800 de superficie de aguas estuáricas. Chiapas, es uno de los estados con mayor cantidad de recursos naturales teniendo 75 828 ha de esteros y lagunas costeras. Dentro de sus sistemas estuarinos-lagunares que sobresalen con grandes superficies son: Mar Muerto, La Joya-Buenavista, Carretas-Pereyra y Chantuto-Panzacola de acuerdo al Instituto Nacional de Ecología (INE, 1999). En este estudio se trabajó con la laguna Mar Muerto.

Las lagunas costeras son cuerpos de agua interiores usualmente paralelas a la costa y, separadas del océano por desembocaduras restringidas (Lankford, 1977). Entre sus principales características están: 1) ser ambientes estuarinos de poca profundidad en los que hay interacción entre agua dulce y marina, 2) las masas de agua se mantienen dentro de su cuenca a través de alguna barrera de sedimentos, 3) la conexión con mar abierto está restringida a una o más bocas que son mantenidas principalmente por las corrientes de marea (Kjerfve y Magill, 1989).

Uno de los componentes principales de las lagunas costeras es el plancton que se define como un conjunto de organismos pelágicos, que habitan en la columna de agua desde la superficie hasta la capa más cercana al fondo y cuyos movimientos horizontales están a expensas de la dirección de las corrientes (Lagos *et al.*, 2014).

El plancton está constituido por una gran variedad de flora y fauna que pueden estar en un rango de tamaño desde menos de un micrón hasta más de un metro, y son organismos incapaces de nadar a contracorriente. El plancton se divide primordialmente en fitoplancton (autótrofos) y zooplancton (heterótrofos) (Lagos *et al.*, 2014; Werlinger, Alveal y Romo, 2004).

Algunos organismos forman parte del plancton durante todo su ciclo de vida (holoplancton), como los copépodos y quetognatos; así mismo, existen organismos que solo forman parte de la comunidad planctónica durante una fase de su ciclo de vida en estadios de huevo y larva (meroplancton), como camarones, jaibas, peces, etc. En gran mayoría, las comunidades zooplanctónicas ingresan a los sistemas lagunares en busca de alimento y protección como parte de su ciclo de vida (Wickstead, 1979; Gasca y Suárez-Morales, 1996).

El zooplancton forma parte de una de las comunidades más amplia y variada sobre la que se tiene conocimiento, se alimentan del fitoplancton, aunque existen no solo herbívoros, sino también omnívoros y carnívoros, por ello su trama es muy compleja y diversa. Su composición y abundancia están influenciadas principalmente por sus migraciones verticales, agregación, épocas climáticas y además por factores antropogénicos y naturales como salinidad, temperatura, eutrofización, escorrentía, entre otros (Massuti y Margalef, 1950).

La transmisión de energía que mantiene el zooplancton en los sistemas es uno de sus elementos importantes que cambian a respuesta en los factores bióticos y abióticos en su composición y abundancia varía también en respuesta a los cambios en la diversidad y abundancia del fitoplancton (Armengol, 1982; Folt y Burns, 1999; Wetzel, 2001).

En las costas de Chiapas y Oaxaca, existen pocos trabajos recientes sobre zooplancton marino, al igual que en los sistemas lagunares, por lo que la presente investigación pretende dar a conocer la diversidad y riqueza existente de zooplancton, en la laguna Mar Muerto, México. Se compararon las temporadas de secas e inicio de lluvia, esto permitió tener un mejor panorama de los organismos zooplanctónicos que habitan en la laguna.

Debido a que la laguna se caracteriza por mantener una hidrología muy distinta a lo largo del año, es que de acuerdo con los tres subsistemas hidrológicos descritos por Tapia-García *et al.* (2011), se determinó en que parte de la laguna prevalece mayor distribución de las especies; esto ayudará a comprender mejor al

sistema, sustentando la existencia e importancia que mantiene la laguna costera con el zooplancton.

Adicionalmente, se consideró el microplástico, debido a su aumento y exposición en los ecosistemas acuáticos, ya que representan una amenaza para los ecosistemas de agua dulce y marinos, tanto costeros como de aguas abiertas. Una vez que ingresan a los sistemas acuáticos sufren un proceso de degradación por acción física y radiación UV, que los fragmentan en partículas cada vez más pequeñas (Wagner *et al.*, 2014).

Los microplásticos tienen un fuerte efecto en el zooplancton, ya que pueden provocar la mortalidad de los organismos por acción mecánica, ingesta, transferencia, y en la formación de biopelículas, absorción y dispersión de contaminantes. Se sabe que la ingestión de microplásticos por parte de los consumidores primarios (zooplancton) permitiría el ingreso de los plásticos a las redes tróficas acuáticas, provocando procesos de bioacumulación y biomagnificación a niveles tróficos superiores (Farrell y Nelson, 2013). Es por ello que existe una creciente preocupación por la posible transferencia de microplásticos.

Dentro de las muestras del zooplancton se encontraron microplásticos, debido a que se mantienen suspendidos en la columna de agua, los cuales fueron clasificados por sus formas y colores. Esto ayudará a determinar si la laguna puede presentar riesgos que asocien al zooplancton con el microplástico.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Zooplancton

El plancton es un conjunto heterogéneo de organismos, en general pequeños y con poca capacidad natatoria, que viven tanto en agua dulce como del mar. Entre ellos destacan bacterias, fitoplancton (que hace la función de las plantas terrestres) y zooplancton (pequeños animales) (Peters, 2020).

Hay que tener en cuenta que el plancton es la base de la red trófica que sostiene grandes poblaciones de crustáceos, moluscos, peces y aves marinas. Por lo tanto, determinan una serie de propiedades comunes que dan carácter a los seres que los constituyen como la flotabilidad. Por ejemplo, el fitoplancton y los animales planctónicos suprimen los elementos de peso o los reducen al mínimo y los tejidos de los animales pelágicos como las medusas, son muy ricos en agua que llegan a constituir hasta el 90% de su composición (Massuti y Margalef, 1950).

El zooplancton posee una indudable importancia en las redes tróficas marinas y en el flujo vertical de la columna de agua, sirviendo como enlace en las cadenas alimenticias pelágicas, y por estar ubicado en un nivel secundario, constituye el eslabón de retención y de transferencia de energía de la productividad primaria a los niveles tróficos superiores (González, 1988).

Los organismos fitoplanctónicos constituyen la fuente de alimentación directa del zooplancton, formada por pequeñísimos organismos (muchos de ellos fases larvarias de animales). Considerablemente aporta la alimentación de varios peces de importancia económica pesquera como la anchoveta, la sardina, el arenque entre otros (Palomares *et al.*, 1998). De hecho, casi todos los grupos de animales marinos explotan este recurso alimenticio en alguna fase de su desarrollo, incluso los más grandes habitantes marinos se alimentan exclusivamente de este recurso. (Torres-Bejarano, 2013).

2.2. Grupos principales de zooplancton

Las comunidades planctónicas de sistemas acuáticos están constituidas por organismos con periodos de vida cortos y muchos de ellos son fácilmente manipulables. Ello ha permitido la formulación, a partir de hipótesis experimentales basadas en interacciones biológicas y/o físicas, de modelos sobre la estructura de comunidades más fácilmente que en los sistemas terrestres. Es decir, la composición específica del zooplancton puede ser un excelente criterio para caracterizar el estado trófico de los sistemas acuáticos y para deducir la estructura de las comunidades acuáticas (Conde-Porcuna *et al.*, 2004). Cada ambiente requiere adaptaciones particulares y por lo tanto alberga distintos grupos de organismos

La gran mayoría de los animales son invertebrados y en los ambientes dulceacuícolas son el grupo más abundante y diverso. En comparación con el ambiente marino, los ambientes de agua dulce albergan menos filos de animales, puesto que existen varios exclusivamente marinos. Otros filos contienen principalmente especies marinas, con algunas pocas dulceacuícolas (Hanson *et al.*, 2010). A continuación, se presenta los cuatro grupos estudiados: copépodos, decápodos, quetognatos y peces, siendo los más representativos en el zooplancton.

2.2.3. Copépodos

Son pequeños crustáceos acuáticos que constituyen una subclase de los crustáceos inferiores, es un grupo diverso y abundante que ha colonizado todos los regímenes de temperatura del agua, desde regiones polares hasta manantiales cálidos, en todos los intervalos de salinidad, desde agua dulce, aguas superficiales y profundas, trincheras oceánicas incluyendo los lagos a entre algas o asociaciones con otros metazoarios (Hulsemann, 1966; Gasca y Suárez-Morales 1996).

En los copépodos libre-nadadores, los cuerpos asisten en forma cilíndrica, dividido en prosoma y urosoma (Figura 1). En varios géneros la fusión entre el prosoma y el urosoma se presentan en el primer segmento y el cefalosoma y entre el cuarto y el quinto segmento. El esqueleto externo sirve como un soporte rígido y

una cubierta protectora para el tejido suave, adecuando el crecimiento de los cambios externos que presenta obteniendo muda periódicamente (Gasca, y Suárez-Morales 1996).

Por lo tanto, son organismos planctónicos que son transportados por los movimientos de masas de agua y por las corrientes, debido a que mantienen una capacidad para adaptarse a diversos tipos de ambientes, manteniendo a formar agregaciones grandes de biomasa (Omori y Hamner, 1982; Palomares *et al.*, 1998). Ocupando una posición primaria en la transferencia de energía en los sistemas costeros tropicales representando entre 50 y 60% de biomasa del total del zooplancton. Aunque en regiones oceánicas representan una biomasa entre el 60 y 80% (Gómez-Aguirre, 1987; Suarez-Morales, 1994a; Ordoñez-López y Ornelas-Roa, 2003).

La mayoría de los copépodos pertenecen al orden Calanoida, distribuyéndose en casi todos los océanos. Para los órdenes Cyclopoida y Poecilostomatoida son más abundantes en mares cálidos (Gasca y Suárez-Morales, 1996).

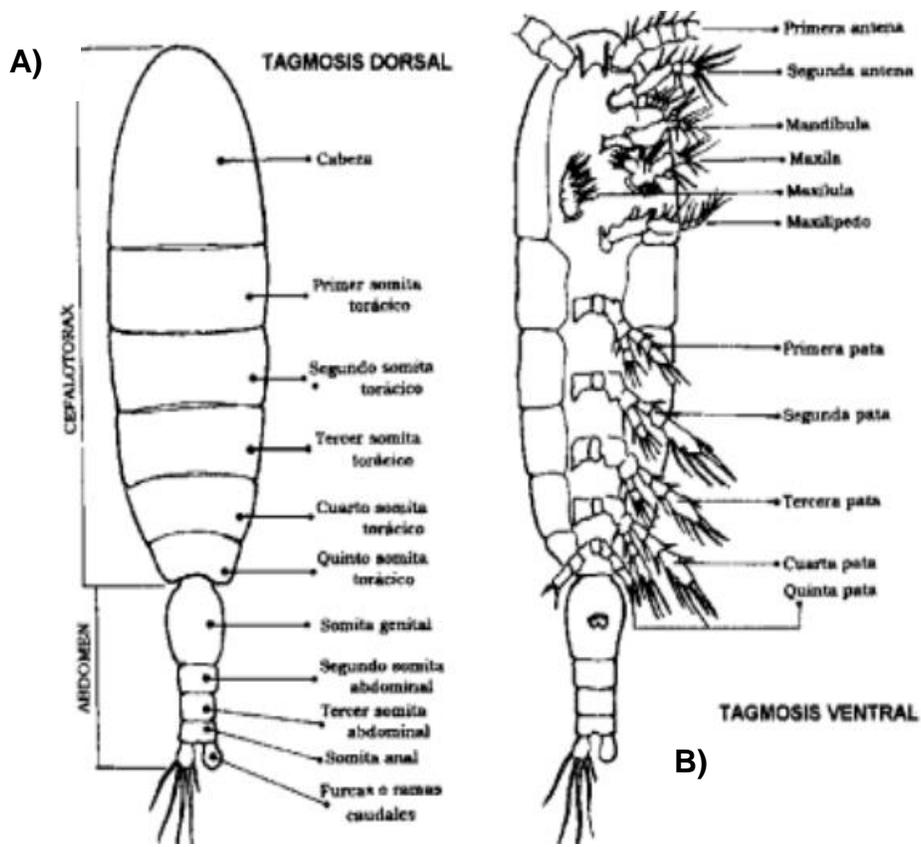


Figura 1. Morfología en general de un copépodo calanoide A) Tagmosis dorsal y B) ventral mostrando sus apéndices cefálicos y torácicos insertados en los diferentes segmentos (modificado de Owre y Foyo, 1967 y de campos y Suarez-Morales, 1994a, citado en Palomares *et. al.*, 1998).

2.2.4. Decápodos

Los cangrejos de río, camarones, cangrejos, jaibas y langostas, también incluyen crustáceos más grandes algunos de los cuales son altamente especializados perteneciendo al orden decapoda. Representan la tercera parte de los crustáceos conocidos actualmente (Gonzabay-Cabrera, 2008). La fauna de crustáceos decápodos del pacifico mexicano contiene 720 especies, 304 géneros y 68 familias pelágicas (Hendrickx, 1993).

Las larvas de los crustáceos constituyen un importante elemento de la fracción meroplántica del zooplancton marino, ya que mantiene una etapa larval antes de llegar a convertirse en juvenil (Figura 2), subadulto o adulto (Gasca y Suárez-Morales 1996). Mayormente se presentan con una fase larvaria pláncica de mayor o menor complejidad, según los grupos (Boschi, 1981).

Esto significa que desde su nacimiento algunos organismos se mantienen de un huevo planctónico o son transportados en el abdomen de la hembra, obteniendo una serie de cambios metamórficos hasta lograr un aspecto semejante al adulto (Boltovskoy, 1981). La mayor parte de las especies son desplazadas por las corrientes marinas y deriva larval que involucra el recorrido de grandes espacios marinos, alejándolos de la zona de desove, reclutamiento y crecimiento (Boschi, 1981).

Los estudios de los crustáceos decápodos significan un aporte relevante al conocimiento de un sustancial grupo de invertebrados marinos presentes como organismos del plancton o como especies bentopelágicas. A lo largo de ciclos de vida enfrentan cambios constantes de salinidad y temperatura, para lo cual han desarrollado mecanismos de adaptación y regulación. Muchas especies tienen un alto interés en las pesquerías de plataforma pasando a hacer el alimento básico de un abundante elenco de peces carcinófagos (Gasca y Suárez-Morales, 1996).

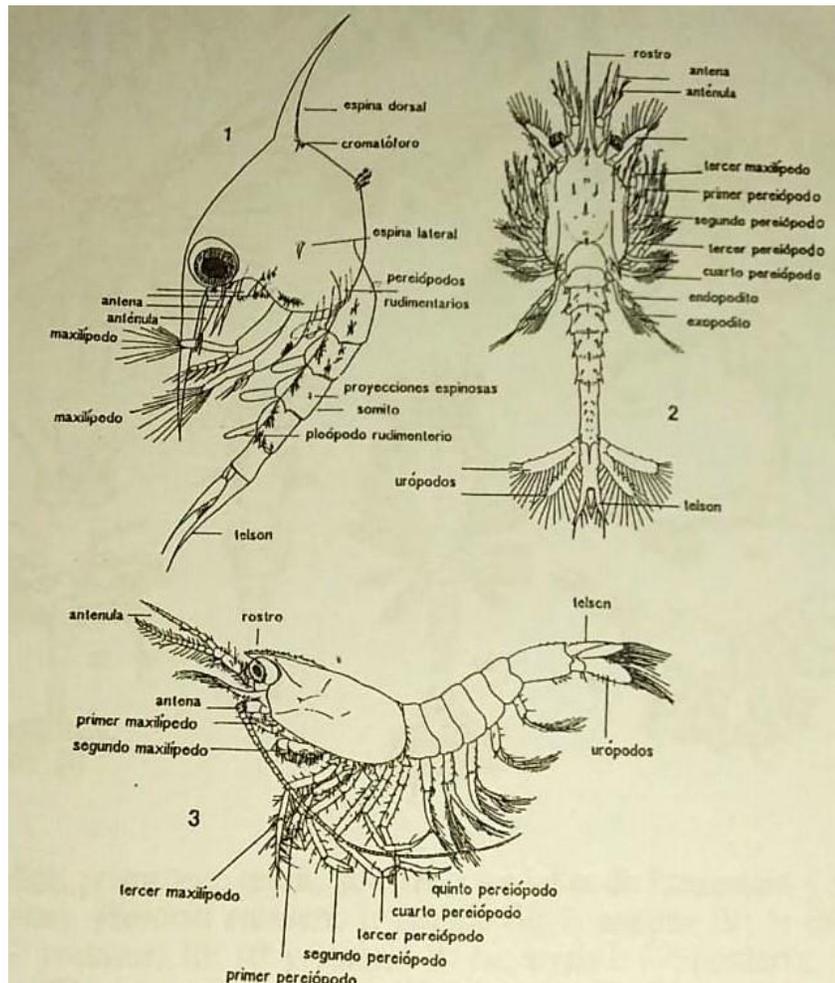


Figura 2. Larvas y postlarvas de decápodos indicando las principales estructuras, espinas y apéndices. 1: zoea IV de Brachyura Grapsidae; 2: mysis II y 3: postlarvas I de Penaeoidea Solenoceridae (Gasca y Suárez-Morales, 1996)

2.2.5. Quetognatos

El phylum Chaetognata se caracteriza por ser organismos que tienen un cuerpo bilateral hidrodinámico, alargado y tripatito, compuesto de cabeza, tronco y cola postanal separados por septos transversales, la cabeza con un procele simple, tronco y cola con mesoceles y metaceles pares, respectivamente, cuerpo transparente con aletas laterales y caudal, soportadas por radios aparentemente derivados de la membrana basal de la epidermis (Figura 3) (Brusca y Brusca, 2005).

Se descubrieron en el año 1769 y actualmente existen alrededor de 60 especies descritas. Los diferentes estudios que se han realizado sobre ellos han definido su importancia dentro del zooplancton (Navarro-Rodríguez *et al.*, 2023), ya que, actualmente se les reconoce como indicadores de algunos fenómenos hidrográficos. Debido a que algunas especies perciben los cambios en la temperatura de masas de agua, o bien de la presencia de corrientes marinas durante los procesos comúnmente conocidos como surgencias (Pierrot-Bults, 1990). A menudo aparecen en gran número, llegando a dominar la biomasa de las muestras de plancton en aguas superficiales (Brusca y Brusca, 2005).

Este grupo de depredadores carnívoros del zooplancton, puede aportar efectos negativamente a la pesca comercial, debido a que tienen influencia dentro de las cadenas tróficas principalmente del sistema marino, ya que se alimentan de copépodos, pero también consumen otras presas como larvas de peces y pequeños quetognatos, en cambio en los sistemas lagunares o estuarinos su repercusión es menor por la presencia de pocas especies (Pierrot-Bults, 1990; Gasca y Suárez-Morales 1996; Navarro-Rodríguez *et al.*, 2023).

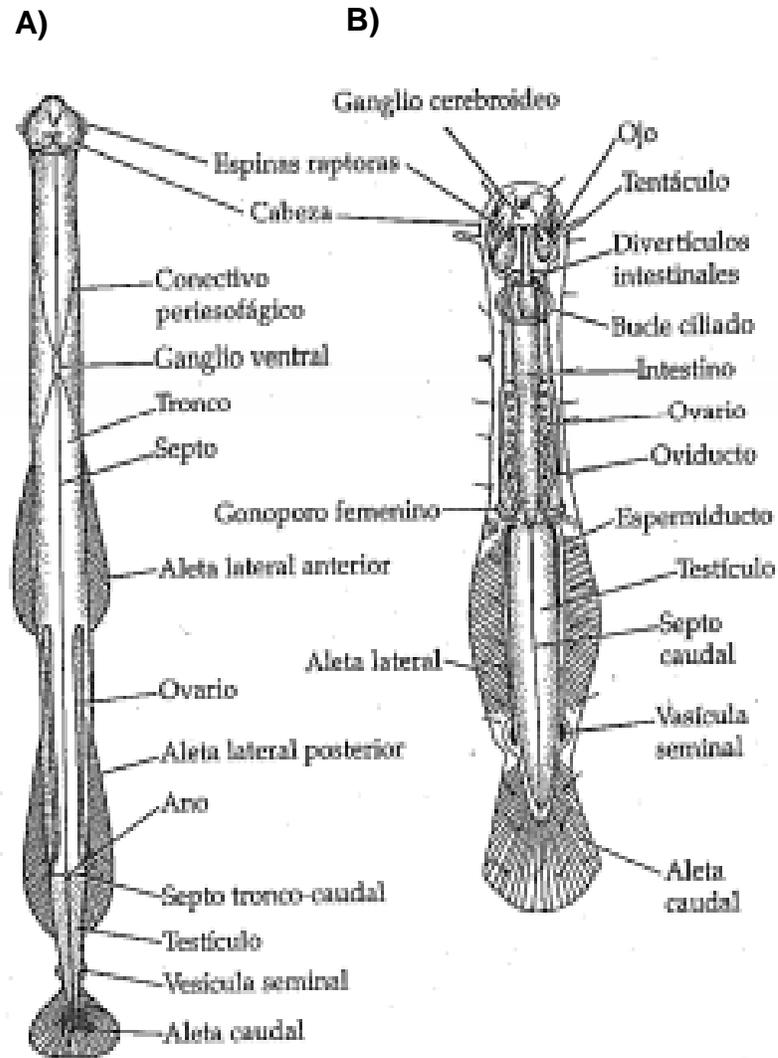


Figura 3. Anatomía general de los quetognatos. **A)** *Saggita elegans* (vista ventral). **B)** El quetognato bentónico *Spadella* (vista dorsal), (Brusca y Brusca, 2005).

2.2.6. Peces

Son los vertebrados más abundantes en el planeta, la riqueza de especies también es considerable, en especial si se toma en cuenta que los peces constituyen más de la mitad de 54 711 especies reconocidas de vertebrados del mundo (Nelson, 2006). Este grupo de organismos incluye a los vertebrados acuáticos con respiración branquial, línea lateral, escamas y opérculo (Figura 4).

Desde esta perspectiva, el ictioplancton es un componente de importancia dentro de las comunidades planctónicas. Debido a que se encuentran agrupadas en huevos, larvas, post-larvas y algunas veces juveniles de peces (Ciechomski, 1981). La información del ictioplancton ayuda a mantener estimaciones del tamaño de la población, en la identificación de hábitats críticos, estaciones de desove declinando a la parte comercial, para desarrollar la acuicultura, la ecología y sistemática (Richards y Vázquez-Yeomans, 1996). En este trabajo sólo se consideran aquellas especies de peces óseos con estadios de desarrollo planctónico de zonas estuario-lagunares y marinas.

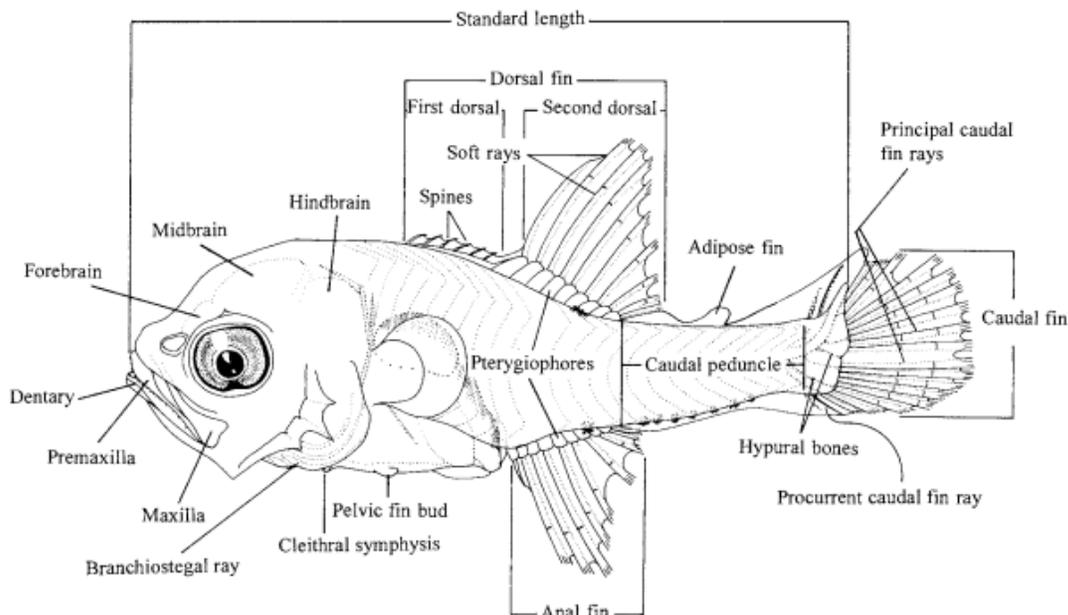


Figura 4. Etapa de posflexión de una larva de pez que muestran características anatómicas y morfológicas (Moser, 1996).

2.3. Sistemas lagunares costeros

En todo el país, existen entre 125 y 130 lagunas costeras que abarcan un área de 15 000 km² (Lankford, 1977). De acuerdo con Arriaga, *et al.* (2000), la mayor parte de los recursos hídricos epicontinentales de México se localizan en los ríos (68.2%), después en las presas (17.8%), acuíferos (11.7%) y sólo el 2.3% se encuentra en lagos y lagunas.

Chiapas presenta una orografía compleja y es uno de los Estados más importantes en cuanto a recursos hídricos del país y el segundo en importancia en cuanto a su biodiversidad. En la región costa de Chiapas, existe una gran variedad de lagunas costeras en función de su origen, tamaño y forma (Rojas y Vidal, 2008). Generalmente presentan una barra arenosa (temporal o permanente) a través de la cual se lleva a cabo el intercambio de agua, dulce y de mar y otros materiales, entre este ambiente y el medio marino. Se caracterizan por ser cuerpos de agua lénticos, pocos profundos, salobres y altamente productivos, son zonas de crianza y reproducción destacándose por su importancia económica, siendo áreas de pesca artesanal y medio de vida de miles de pescadores.

Se definen geomorfológicamente como, depresiones en la costa por debajo del promedio máximo de las mareas más altas, siempre protegidas de las fuerzas del mar (Lankford, 1977). Otro rasgo importante en la zona costera es la descarga de los ríos directa al mar a lo que se denomina estuario.

Las lagunas manifiestan variaciones estacionales significativas en el contexto físico y ecológico, las comunidades vegetales asociadas a este tipo de ambientes se encuentran representadas por una comunidad arbórea dominante de manglares que, dependiendo de la región, ocasionalmente se combina con especies de árboles y arbustos característicos de selva mediana y baja subcaducifolia y/o subperennifolia (Rojas y Vidal, 2008).

2.4. Abundancia

La abundancia, en número es la cantidad total de organismos de un determinado sistema, se puede establecer en unidades de volumen, peso o número para interpretarse como la biomasa para la estimación cuantitativa de la masa total de los organismos que comprenden toda una comunidad, o forma parte de ella, o dentro de un área en un periodo dado; se mide como volumen o masa, etc. También podemos encontrar la abundancia relativa; relación porcentual de una especie o grupos de especies con respecto al tamaño total de la muestra, por el cual se puede expresarse numéricamente y/o peso (Lincoln *et al.*, 1995).

El análisis del valor de importancia de las especies cobra sentido si recordamos que el objetivo de medir la diversidad biológica es, además de aportar conocimientos a la teoría ecológica, contar con parámetros que nos permitan tomar decisiones o emitir recomendaciones en favor de la conservación de taxa o áreas amenazadas, o monitorear el efecto de las perturbaciones en el ambiente (Magurran, 1988).

La abundancia relativa de cada especie permite identificar aquellas especies que por su escasa representatividad en la comunidad son más sensibles a las perturbaciones ambientales. Además, identificar un cambio en la diversidad, ya sea en el número de especies, en la distribución de la abundancia de las especies o en la dominancia, alerta acerca de procesos empobrecedores (*Ídem*).

2.5. Riqueza

El número de especies es la medida más frecuentemente utilizada, por varias razones (Gaston, 1996; Moreno, 2000): Primero, la riqueza de especies refleja distintos aspectos de la biodiversidad. Segundo, a pesar de que existen muchas aproximaciones para definir el concepto de especie, su significado es ampliamente entendido (Aguilera y Silva, 1997; Mayr, 1992). Tercero, al menos para ciertos grupos, las especies son fácilmente detectables y cuantificables. Y cuarto, aunque el conocimiento taxonómico no es completo (especialmente para grupos como los

hongos, insectos y otros invertebrados en zonas tropicales) existen muchos datos disponibles sobre números de especies.

La riqueza específica (S) es la forma más sencilla de medir la biodiversidad, ya que se basa únicamente en el número de especies presentes, sin tomar en cuenta el valor de importancia de estas. La forma ideal de medir la riqueza específica es contar con un inventario completo que nos permita conocer el número total de especies (S) obtenido por un censo de la comunidad. Esto es posible únicamente para ciertos taxa bien conocidos y de manera puntual en tiempo y en espacio. La mayoría de las veces tenemos que recurrir a índices de riqueza específica obtenidos a partir de un muestreo de la comunidad (Moreno, 2000).

2.6. Diversidad

La diversidad se refiere a la complejidad presente en la estructura de una comunidad biológica, es decir, la presencia de diferentes especies (Jost, y González-Oreja 2012). La diversidad alfa, es la riqueza de especies de una comunidad particular a la que se considera homogénea, la diversidad beta es el grado de cambio o reemplazo en la composición de especies entre diferentes comunidades en un paisaje, y la diversidad gamma es la riqueza de especies del conjunto de comunidades que integran un paisaje, resultante tanto de las diversidades alfa como de las diversidades beta (Whittaker, 1972).

2.7. Microplásticos

Los microplásticos son contaminantes emergentes definidos como fragmentos de plástico menor de 5 mm, Una vez que ingresan a los sistemas acuáticos sufren un proceso de degradación por acción física y radiación UV, que los fragmenta en las partículas cada vez más pequeñas, (Wagner *et al.*, 2014) clasificándose como: macroplásticos, mesoplásticos, microplásticos y nanoplásticos (De Moura y Vianna, 2020). Estos, han producido una creciente preocupación por parte de la comunidad científica y el público a nivel mundial (De-la-Torre, 2019).

En este sentido Escobar-Cartagena (2021) define como macroplásticos aquellos fragmentos mayores a 25 mm, mesoplásticos a los desechos plásticos de

cualquier composición cuyo tamaño oscile entre 1 a 25 milímetros y los nanoplásticos a los menores a 1 mm. Aquí se incluyen aquellos de la degradación de plásticos voluminosos hechos de polietileno (bolsas plásticas), poliestireno (contenedores de alimentos), nylon, polipropileno (telas) o cloruro de polivinilo (tuberías plásticas) etc.

En los microplásticos existen dos formas diferentes que va padeciendo desde su origen, como la forma primaria, que se encuentra en productos manufacturados en forma de microesferas como los granulados, pellets, polvos abrasivos domésticos e industriales que se añaden a cremas faciales y en forma secundaria se presentan en plásticos de mayor tamaño que resultan en pequeños fragmentos cuando son expuestos bajo condiciones ambientales extremas donde sufren degradación mecánica, química y física (Bollaín-Pastor y Agulló, 2019; Galvín, *et al.*, 2019).

Se clasifican en tres características distintivas, tamaño, color y forma. Para el tamaño se mide el rango del plástico que pertenece, la forma varía de acuerdo a su procedencia o la clasificación establecida por cada autor, los más comunes son: fibras, filamentos, películas, granulos espumas, pellets (Kovač, *et al.*, 2016; Purca y Henostroza, 2019).

III. ANTECEDENTES

A continuación, se presentan algunos trabajos de investigación a nivel mundial en zooplancton en lagunas costeras en relación a su diversidad y abundancia del zooplancton.

Arfi *et al.*, (1987), realizaron un estudio de las poblaciones de zooplancton durante dos ciclos anuales (1981-1982 y 1984-1985) en cinco regiones de la laguna Ebrié en diferentes características ecológicas. El análisis multivariable de los resultados (PCA) permitió proponer un patrón espacio-temporal de las comunidades, dependiendo de las variaciones combinadas de salinidad y la biomasa del fitoplancton (medido como Chla). Según la estación y el año y la ubicación geográfica, estuvieron relacionados con influencias marinas y continental. La comunidad lagunar estuvo dominada por *Acartia clausi* siendo permanente en la parte occidental de la laguna.

Etilé, *et al.*, (2009), presentaron las variaciones espacio-temporales de abundancia del zooplancton y composición en una laguna costera tropical de África occidental (Grand-Lahou, Costa de Marfil). Determinaron 65 taxones, incluidos Copepoda, Rotifera y Cladóceras. Copepoda fue el grupo más abundante (81% del total). La abundancia más alta de zooplancton (171–175 ind. l-1) se registró durante la estación seca (febrero-abril) y la más baja (40–45 ind. l-1) durante la lluvia y los períodos de inundaciones (junio-julio). El papel del estado trófico en las comunidades de zooplancton no se pudo evidenciar claramente con estudios previos en los países vecinos. La laguna de Ebrié, altamente contaminada, sugieren que la proporción entre *Oithona* y *Acartia* se podría utilizar la abundancia como indicador biológico de la calidad del agua.

Villalba, *et al.*, (2017), analizaron la composición y abundancia del zooplancton de la laguna el Morro en la isla Margarita, Venezuela, durante el periodo de surgencia (marzo-mayo 2011) y de relajación (junio-agosto 2011). Detectando diferencias significativas temporales en la temporada de relajación, mientras que, espacialmente no demostró diferencias. Esto es un efecto importante entre la

distribución y la abundancia del zooplancton. Identificaron 15 grupos zooplanctónicos, determinando nueve especies del grupo Copépoda, dos de Cladocera, una de Decápoda, Tunicata y Rotífera y diferentes formas larvianas de diferentes taxa.

Ahora, se presentan algunos trabajos a nivel nacional en relación a su diversidad y abundancia, de zooplancton en lagunas costeras de México.

Álvarez-Silva y Gómez-Aguirre (2000), presentaron un listado actualizado de los copépodos reconocidos en las lagunas costeras de Pueblo Viejo, Tamiahua, Tampamachoco, La Mancha, Mandinga y Alvarado en Veracruz, México. A partir de literatura novedosa y la revisión de 736 muestras de zooplancton, que incluyeron 6 órdenes, 17 familias y 23 especies de la zona. Las especies presentes en todas las lagunas fueron: *Acartia lilljeborgii*, *A. tonsa*, *Pseudodiaptomus pelagicus* y *Temora turbinata*. Se reportó por primera vez en Veracruz a *Arctodiaptomus dorsalis* y a *Eucyclops agilis*. Se incluyeron datos por primera vez de los copépodos de las lagunas costeras de Mandinga y Alvarado.

De Silva-Dávila *et al.* (2006) realizaron un estudio en donde resalta la importancia de los grupos dominantes del zooplancton durante un ciclo anual en el sistema lagunar San Ignacio-Navachiste-Macapule (Sinaloa), donde los copépodos representaron el 40% de la abundancia total, seguido por los decápodos (28%), los quetognatos (7%) y los cladóceros (6%). Los cambios en la estructura de la comunidad estuvieron relacionados con la variabilidad ambiental.

Rivera-Acuña, (2013) presentó la composición del zooplancton durante el año 2010, en la laguna costera de las Guásimas, Sonora, en dos muestras (una externa y una interna a la laguna), obtuvo un total de 24 grupos en la comunidad zooplanctónica, de los que se encuentran copépodos, cladóceros y larvas de decápodos con un 86%, los copépodos determinaron mayor dominancia con el 72% de la abundancia total, seguido de los 7% de decápodos y un 6% de cladóceros con un total de dos especies, los mayores cambios en la estructura de la comunidad del zooplancton se dio por la variabilidad ambiental de la laguna.

Flores-Vargas y Navarro-Rodríguez (2018) estudiaron las fluctuaciones en la composición y abundancia del zooplancton en la laguna costera Barra de Navidad, Jalisco durante dos periodos (2002-2003), identificando 20 grupos zooplanctónicos de los cuales las larvas de branquiuros y carídeos fueron los grupos más representativos de la temporada de estudio, su biomasa promedio más alta fue (10.31 ml/100 m³) y con valores promedio con temperaturas cálidas durante el verano (31.6 °C) altas salinidades (33 ups) y concentraciones (6.1 mg/l) y en periodo de lluvias presentó una disminución de biomasa (0.58 ml/100 m³) y con bajos registros de temperatura (24-7 °C), salinidad (2.8 ups) y oxígeno disuelto (4.4 mg/l).

Mecalco-Hernández, *et al.*, (2018). En laguna La Mancha, Veracruz, México, observaron su variabilidad estacional y nictimeral, así como la influencia que ejercen las principales variables, ambientales, de mayo 2012 a abril 2013, en la boca de la laguna. Capturaron 54 taxa (principalmente del holoplancton) y 10 de ellos fueron considerados dominantes (abundancia total > 0,5%). La comunidad estuvo dominada por dos especies de copépodos (*Acartia tonsa* y *Pseudodiaptomus pelagicus*), así como por larvas zoea de braquiuros (~85%). La abundancia total del zooplancton mostró pulsos significativos a lo largo del año, uno en febrero-marzo dominado por copépodos y otro en septiembre-octubre, dominado por larvas de decápodos.

Mecalco-Hernández y Castillo-Rivera, (2020). Determinaron la riqueza zooplantónica en la Laguna Mancha, durante muestreos mensuales y nictimerales. Registraron 57 componentes zooplanctónicos correspondientes a 6 phyla (Cnidaria, Chaetognatha, Annelida, Arthropoda y Chordata), 25 órdenes y 43 familias. Los componentes mejor representados fueron los crustáceos, dentro de los cuales los copépodos adultos fueron los más diversos con 17 especies. Comparado con otros estudios de diferentes sistemas costeros del Atlántico mexicano, la riqueza zooplantónica reportada en el presente estudio es relativamente alta, estando dominada por copépodos.

A continuación, se presentan trabajos de zooplancton en las lagunas costeras del Pacífico sur mexicano.

Yáñez-Arancibia, (1978) determinó su taxonomía, ecología y estructura de las comunidades de peces en las lagunas costeras de Guerrero, recopilando información de Salinas de Apozahualco, Chuantengo, Tecamate, Tres palos, Coyuca, Mitla, Nuxco, Salinas de Cuajo, Potosí y El tular .De las 10 lagunas costeras se presentaron los grupos de zooplancton más comunes este caso son Copépodos, Quetognatos, larvas de Gasterópodos, larvas de Cirripedios, larvas de Bivalvos, larvas de Poliquetos, larvas de Decápodos, larvas de Cifonantes, Cladóceros y algunas larvas y huevecillos de peces.

Martínez-Guerrero, (1978) estudio las cinco lagunas costeras en el estado Guerrero, presentando al sistema lagunar Salinas Apozahualco, Chauntenango, El Mitla Nuxco, Potosí, sostiene que la productividad de las lagunas es bajas, debido a que está influenciadas directamente por el tiempo que pertenecen comunicadas con el mar. La diversidad de grupos no varía considerablemente predominando, los copépodos, foraminíferos, larvas de cirripedios, peces, ostrácodos, rotíferos, larvas de peces, lamelibranquios, leptostraceos y larvas de decápodos obteniendo un total 4 571 zooplanctontes/m³, de abundancia en las cinco lagunas costeras.

Llanos-Rivas, (1987) realizó un estudio del zooplancton en la laguna de Coyuca, Guerrero, dónde cuantificó la abundancia y distribución del zooplancton en cuatro muestreos estaciones en verano, otoño, invierno y primavera, demostrando que los resultados obtenidos fueron principalmente por los factores ambientales reportando en invierno (601 zooplanctontes m³), primavera (538 zooplanctontes m³), otoño (378 zooplanctontes m³) y verano (298 zooplanctontes m³), las especies que más abundantes se consideraron en el canal siendo *Callinectes* sp., *Macrobrachium* sp., Gobidos y Clupeidos y el copépodo *Cyclops* sp.

Álvarez-Silva y Torres-Alvarado (2013) estudiaron la composición y abundancia del zooplancton en la laguna Coyuca, Guerrero durante cuatro meses de 1999. Identificando 12 especies de copépodos, un género Chaetognatha, dos de

Tunicata y seis de formas larvarias, siendo la información más completa de copépodos, *Ergasilus sp.*, *Pseudodiaptomus culebrensis*, *Oithona nana*, *Acartia tonsa* y *Canthocalanus pauper*.

Mariano-Benítez, *et al.*, (2023) estudiaron la comunidad ictioplanctónica en laguna de Coyuca de Benítez, Guerrero, México. Registraron 2 673 larvas de peces pertenecientes a nueve familias, once géneros y ocho especies, siendo el género *Lile* el más abundante, con el 74.17 % de la abundancia total. La abundancia temporal presentó diferencias significativas entre los meses analizados ($p < 0.05$) las cuales están relacionadas con las estaciones del año. Espacialmente se encontraron una mayor concentración de larvas de peces en las zonas de manglares debido a que estos ecosistemas corresponden a sitios de alta productividad propicios para el desarrollo y supervivencia de larvas de peces.

Por último, se cuenta con muy pocos trabajos en el estado de Oaxaca y Chiapas que incluya al zooplancton en lagunas costeras.

Zarate-Vidal, (1985) estudió algunos aspectos ecológicos del ictioplancton de las lagunas de Chacahua-La Pastoría, Oaxaca. En los meses de agosto 1982 a junio 1983. Identificando 1 7157 larvas peces, de las cuales son 17 familias, 14 géneros y 8 especies. Las familias más abundantes en ambas lagunas fueron: Engraulidae con *Anchovia macrolepidota* y *Anchoa* sp. Gobiidae con sp. 1, Sp. 2, y *Gobionellus microdon*; Bothidae y Gerreidae, presentando mayor abundancia y distribución dentro del sistema.

Ortiz-Ortiz y Teodoro-Salvador, (1990) expusieron que en las lagunas Chacahua y Pastoría, Oaxaca determinaron 30 grupos taxonómicos pertenecientes a 13 phyla. Dentro de los organismos holoplanctónicos el componente principal fueron los copépodos, para ambas lagunas, es el grupo de mayores individuos en la naturaleza marina, dulceacuícola o de aguas salobres. Para los componentes del meroplancton se les ubicó como típicos representantes de aguas marinas, foraminíferos, radiolarios taliáceos, principalmente se mantienen por las concentraciones de salinidad y oxígeno.

Pantaleón-López, *et al.*, (2005), estudiaron la comunidad zoopláncica del sistema lagunar Chacahua-La Pastoría, Oaxaca, México. Antes de la apertura de la barra arenosa de Chacahua por la Secretaría de Marina. Se identificaron 26 grupos de zooplancton provenientes de 5 muestreos realizados en mayo, octubre, diciembre de 1996 y febrero y junio de 1997.

López-Serrano y Serrano-Guzmán (2013) caracterizaron la composición del mesozooplancton en la laguna inferior Huave, Oaxaca en mayo y septiembre-octubre de 2007, por grupos y abundancia presentando una variación espacio-temporal en (secas y lluvias), determinado que la biomasa fue similar en ambas temporadas, presentando mayor temperatura, salinidad y oxígeno en secas, siendo un factor importante en la presencia y distribución del zooplancton dentro de la laguna. Para los grupos taxonómicos, los copépodos fue el grupo más abundante seguido de zoeas de quetognatos y quistes de (*Artemia* sp.), en la parte región-central de la laguna, debido a que la laguna mantiene mayor oxígeno y temperatura.

Escudero-Díaz, (1975) estudió la composición del zooplancton en la Laguna del Mar Muerto, cualitativa y cuantitativa, obteniendo un total 68 especies de las cuales 39 denominaron arbitrariamente a, b, c, etc. por dificultad de identificación y 12 que sólo se identificaron a nivel de género, el conjunto correspondió a 25 taxas diferentes, presentando su distribución y sus relaciones con algunos factores abióticos y su diversidad de especies, en los meses de enero, mayo y agosto de 1973.

Álvarez-Silva *et al.*, (2006), realizaron un estudio de la composición y abundancia del zooplancton de los sistemas estuarinos de Chantuto y Panzacola, Chiapas, en época de secas (mayo de 1997) y de lluvias (julio de 1997), concluyendo que en la época de secas dominaron los copépodos *Canthocalanus pauper* y *Pseudodiaptomus culebrensis*, mientras que en lluvias la dominancia fue la especie *Oithona nana*. Hasta el momento ninguno de los copépodos mencionados había sido considerado como dominante en un sistema estuarino mexicano.

Por otro lado, se presentan algunos trabajos de investigación a nivel mundial de microplásticos en lagunas costeras.

Deng *et al.*, (2021) presentaron la primera revisión del estado actual de la contaminación por microplásticos en los ecosistemas de manglares, desde 2004 se han reportado voluminosos estudios sobre fuentes, caracterización de la distribución y destino de los microplásticos en los diferentes compartimentos ambientales (por ejemplo, marino, agua dulce, aguas residuales y suelo), mientras que, la contaminación por microplásticos en ecosistemas costeros recibe poca atención científica. Siendo amortiguador importante entre la tierra y el mar, ha sido identificado como un sumidero potencial de microplásticos causados tanto por actividades marinas como terrestres.

Garcés-Ordóñez, (2022) evaluó la contaminación de microplásticos en manglares y playas del área de la marina protegida de Cispata, Caribe colombiano en mayo de 2018, en donde se muestrearon microplásticos en el agua superficial y sedimentos. La abundancia de microplásticos fue mayor en los manglares (de 13 a 123 ítems/m³ de agua) en comparación con las playas (8 a 36 ítems/m² de sedimentos). En ambos ecosistemas, las películas, las espumas y los fragmentos fueron las formas más comunes, relacionándose con la deficiente gestión de residuos domésticos, del turismo y la pesca en la zona, aportando el conocimiento en la distribución, la abundancia y las características de los microplásticos en manglares y playas de la región.

Mongalo *et al.*, (2024) identificaron microplásticos en agua, arena, sedimento y en la biota (*Crassostrea rhizophorae*) en la barra de Houn Sond, al sur de la laguna de Bluefields, Nicaragua. De 1,296.073 m³ de agua filtrada, se identificaron 0.475 g de microplásticos y una partícula de goma de 0.022 g, siendo el color más abundante el blanco hueso con 0.329 g. En la arena se encontraron 23.282 g de microplásticos, con una mayor presencia del color blanco hueso (13.473 g). No se observaron microplásticos en el sedimento ni en las muestras de ostiones.

A continuación, se presentan algunos trabajos a nivel nacional de microplásticos en lagunas costeras de México.

Celis-Hernández *et al.*, (2021) llevaron a cabo un estudio sobre el riesgo ambiental de los MPs en el sistema lagunar Términos, al sur del Golfo de México, relacionado con actividades antropogénicas que contribuyen a la presencia de microplásticos. Los resultados mostraron que las concentraciones de microplásticos en agua y sedimentos eran 210,000 y 11.3 veces más altas respectivamente que en otras áreas protegidas en todo el mundo. El análisis de la composición química de los microplásticos reveló que la pesca y las actividades urbanas aportan principalmente polietileno (21,1 %), poli(butadieno) diol (12,6 %) y tereftalato de polietileno (9,5 %). También se determinó que las ostras no reflejan la distribución espacial de los MPs dentro del área de estudio.

Finalmente, es importante resaltar que hasta el momento no existe información de microplásticos en el agua en lagunas costeras del estado de Chiapas.

IV. OBJETIVOS

4.1. Objetivo general

Analizar la diversidad y abundancia de zooplancton y presencia de microplásticos en laguna Mar Muerto México.

4.2. Objetivos particulares

- Estimar la riqueza y abundancia de zooplancton en la laguna Mar Muerto, México.
- Comparar la diversidad existente de zooplancton, entre las temporadas de secas con el inicio de lluvias de la laguna Mar Muerto, México.
- Relacionar la distribución del zooplancton, con respecto a los subsistemas hidrológicos de la laguna Mar Muerto, México.
- Identificar los microplásticos presentes en el agua en la laguna Mar Muerto, México.

V. HIPÓTESIS

- Debido a que gran parte del zooplancton en las lagunas costeras es de origen marino, se espera obtener una alta diversidad y abundancia de zooplancton en el subsistema marino de la laguna Mar Muerto.
- Dado a que la laguna Mar Muerto no está ubicada en una zona de alta concentración humana, se espera encontrar una baja cantidad de microplásticos en el agua.

VI. ZONA DE ESTUDIO

La Laguna Mar Muerto, se localiza en la parte norte del Golfo de Tehuantepec en el Pacífico Sur mexicano, y formando parte de los estados de Oaxaca y Chiapas (Figura 5). Tiene una longitud aproximada de 60 km y en su parte más ancha de 12 km; se conecta con la línea de costa del Océano Pacífico por la Boca de Tonalá (Cervantes-Castro, 1969). Al sureste prevalecen condiciones marinas, que no tienen variación por el aporte constante de agua de mar a través de la Boca de Tonalá, y en el área central el intercambio es limitado provocando una variación estacional (Tapia-García *et al.*, 1998).

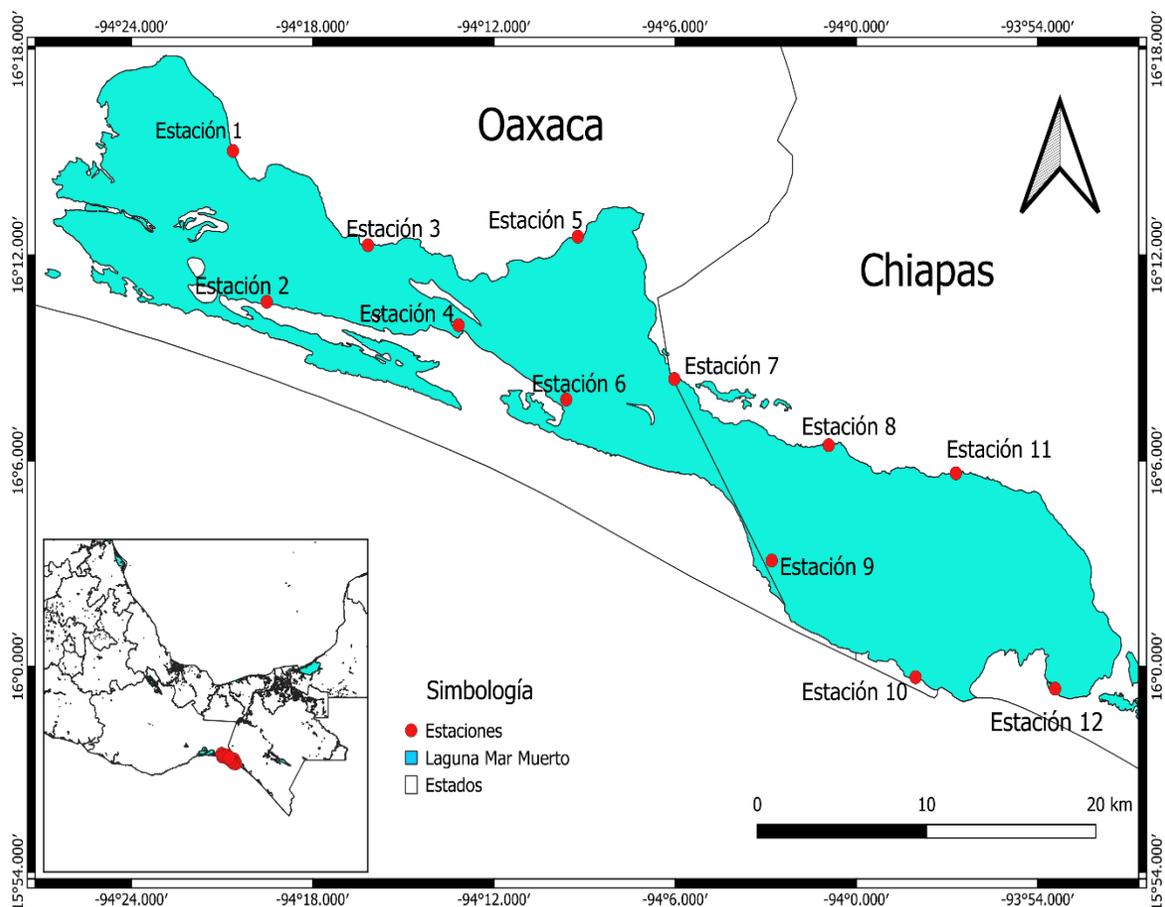


Figura 5. Localización del área de estudio laguna Mar Muerto, México, así como las 12 estaciones correspondientes de muestreo.

La laguna se encuentra delimitada en la parte superior izquierda por la latitud Norte: 16.320592 longitud Oeste: 94.654926 y en la parte inferior derecha por la latitud Norte: 15.917409 y longitud Oeste: 93.768739 (Tapia-García *et al.*, 1998).

6.1. Características físicas

6.1.1. Aspectos climatológicos

Clima (Aw1) (89.74%), cálido subhúmedo, temperatura media anual mayor de 22° C y temperatura del mes más frío mayor de 18° C. Precipitación del mes más seco entre 0 y 60 mm; lluvias de verano con índice P/T entre 43.2 y 55.3 y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual (Aw2) (10.26%) cálido subhúmedo, (Tovilla-Hernández y Vázquez-Lule, 2009).

6.1. 2. Estacionalidad

El área noroeste es muy somera y presenta grandes variaciones estacionales, lo que determina que sea un sistema de condiciones eurihalinas. Desembocan un gran número de ríos de escasa dimensión que aportan poca o nada de agua durante en la época de sequía. El de mayor importancia es el río Tapanatepec que desemboca en la región denominada "El Escopetazo" (Álvarez del Villar y Díaz-Pardo, 1973). El 49.5% de la laguna tiene profundidades menores a 1 m y sólo el 2.3% alcanza más de 5 m.

La causa principal de las corrientes son las mareas, que ocasionan la entrada y salida de agua de la laguna; la influencia de las mareas no es de gran amplitud, debido a que la Boca de Tonalá es relativamente pequeña (Tapia-García *et al.*, 2011). La temporada de lluvias inicia en el mes de junio y se extiende hasta el mes de octubre, presentándose la sequía intraestival entre los meses de julio y agosto. El resto del año es seco con algunas ligeras precipitaciones en enero y febrero. (Tovilla-Hernández y Vázquez-Lule, 2009).

6.1.3. Tipos de suelos

Presenta Solonchak (31.89%), Gleysol (28.61%), Cambisol (19.60%), Regosol (16.67%) y Feozem (3.23) (Tovilla-Hernández y Vázquez-Lule, 2009).

6.1.4. Tipo de humedal

Desde el punto de vista hidrológico, tiene un ámbito marino–costero de sistema estuarino con subsistema intermareal de clase humedal arbóreo, en el extremo norte de la Laguna Mar Muerto existe la presencia de cuatro sistemas lacustres mixohalinos poco extensos: “Cachimbón”, “San Pedro”, “Champerico” y “El Patio” (Tovilla-Hernández y Vázquez-Lule, 2009).

En el extremo sur de Laguna Mar Muerto, se extiende este complejo de humedal costero caracterizado por la presencia de nueve “esteros”, reconocidos localmente como: “El Tortugo”, “El Tapado”, “La Joyita”, “Esteban Alonso”, “El Lagartero”, “Escondido”, “Piñuela” y “Pampa El Capulín. Sus principales afluentes del sistema son: arroyos Aguaje de la Historia, arroyo Aguaje del Zapote, arroyo Escopetazo, arroyo Las Minas, arroyo Mata Hueyal, arroyo San Miguel, arroyo Siete, estero Mar Muerto, río Lagartero, y los ríos Ponedero, Tamarindo, Tiltepec, Zanatenco y marea del océano Pacífico (*Ídem*).

6.2. Descripción biológica del sitio

6.2.1. Vegetación

La flora está representada principalmente por la comunidad de cuatro especies de mangle: negro o madresal (*Avicennia germinans*), mangle rojo (*Rhizophora mangle*), mangle blanco (*Laguncularia racemosa*) y mangle botoncillo (*Conocarpus erectus*). De igual manera, presenta arboles con alturas variables de 4 a 30 metros, hay un estrato herbáceo dominado por *Batis marítima* y *Sporolobus* sp., (BirdLife International, 2021).

En algunos lugares forma una franja angosta de 5 a 20 metros de ancho con raíces y zancos de 1 a 3 metros como en los sitios cercanos a Paredón. También

se encuentran otros tipos de asociaciones vegetales como pastizal halófilo, pastizal inducido, sabanoide, selva baja caducifolia, selva baja espinosa caducifolia y selva mediana subperennifolia ((*Ídem*)).

6.2.2. Fauna

Existe una gran diversidad de especies como: el camarón del género *Litopenaeus*, en caso de los crustáceos, para la ictiofauna se presenta anchoa falsa de Panamá (*Anchoa mundeola*), anchoa bocona (*Anchoa lucida*), robalo de aleta amarilla (*Centropomus robalito*), y lebrancha (*Mugil curema*), por mencionar algunos (Tapia-García, *et al.*, 1998).

En cuanto a los géneros de moluscos, presentes en manglares y sistemas lagunarios y estuarinos de Chiapas están: *Littorina*, *Cerithidea*, *Thais*, *Cerithium*, *Modulus*, *Natica*, *Turritella*, *Murex* y *Conus* (Penagos-García, 2013). Por otra parte, existen registros de tortuga golfina, (*Lepidochelys olivacea*), tortuga laúd (*Dermochelys coriacea*), tortuga prieta (*Eretmochelys imbricata*), (BirdLife International, 2021).

6.2.3. Importancia biológica del sitio

El sitio es el hábitat para una gran variedad de especies de aves residentes y migratorias, terrestres y acuáticas. Los manglares son zonas de refugio para el desarrollo y reproducción de peces y crustáceos, proporcionando el mantenimiento a la producción pesquera favoreciendo la recepción y retención de suelo como un filtro biológico natural para la depuración de contaminantes y protección o barrera natural contra los vientos, siendo un sumidero de nutrientes. Siendo un exponente de corredor biológico principalmente para aves, al largo del Istmo de Tehuantepec (Tovilla-Hernández y Vázquez-Lule, 2009).

VII. MÉTODO

7.1. Trabajo de campo

Para la obtención del material biológico, se realizaron dos muestreos en la Laguna Mar Muerto, México. El primero el 23 y 24 de marzo de 2021 (temporada de secas) y el segundo el 24 y 25 de junio de 2021 (inicio de lluvias). Se realizó la recolecta de muestras de zooplancton a bordo de una lancha con motor fuera de borda en 12 estaciones de muestreo. En cada estación se midió, temperatura °C, la transparencia del agua a través de un disco de Secchi, conductividad, pH y oxígeno disuelto con un multiparámetro Hanna instruments mod H198194. La ubicación geográfica de los sitios de muestreo se encuentra en la Figura 5.

Se realizaron arrastres horizontales-circulares con una red cónica estándar de 363 μm de luz de malla, de 1.5 m de longitud y 30 cm de diámetro de boca a una velocidad de 2 nudos y una duración de 5 minutos. En la red se colocó un flujómetro General Oceanics inc, modelo 2030R. Para calcular el volumen de agua filtrada durante cada arrastre, lo que sirvió para determinar la densidad de organismos recolectados por volumen de agua filtrado (Smith y Richardson, 1979).

Las muestras recolectadas de zooplancton se fijaron con una solución de formalina al 4% y se depositaron en frascos de plástico de 250 ml. Se etiquetó con el número de estación, muestra, hora, fecha y coordenadas. Así mismo, en las fichas de campo, se anotaron los mismos datos por muestras más la lectura inicial y final del flujómetro y observaciones generales que se consideraron pertinentes.

7.2. Trabajo de laboratorio

El volumen filtrado se calculó mediante la siguiente ecuación (Zavala-García y Espinoza-Fuentes, 2000).

$$Vf = \left(\frac{\pi * Dr^2}{4} \right) \left(\frac{Nr * Cr}{9999} \right).$$

Donde:

Vf= volumen de agua filtrado por la red m³

Dr=diámetro de la boca de la red en m

Nr=número de revoluciones en el flujómetro

Cr= constante del rotor (26,873)

Sobre las muestras recolectadas, se realizó el traspaso del material biológico de formalina al 4% a alcohol etílico al 70%, para su preservación. Para todas las muestras de zooplancton, se calculó la biomasa, por el método volumétrico descrito por Beers, (1976) para eliminar el agua intersticial, determinando la biomasa por el volumen desplazado, utilizando una probeta de 10 ml. Se estandarizó a ml/100 m³.

Se fraccionaron las muestras por medio de alícuotas, se utilizó una pipeta Hensen-stempel de 2 ml (serie 1806) para submuestrear el zooplancton, en el cual se transvasó toda la muestra en un frasco de 70 ml, agitando, se ingresó la pipeta Hensen-stempel, al frasco y en cada alícuota se obtuvieron los 2 ml de zooplancton, en este caso, con seis repeticiones para obtener 12 ml del zooplancton para traspararlo a una placa de Petri, para su identificación.

Posteriormente, el zooplancton identificado se almacenó en frascos con sus respectivas etiquetas. La pipeta Hensen-stempel ayudó a obtener una muestra que pueda ser analizada de forma adecuada del volumen total de las muestras, sin implicar una pérdida de tiempo, pero manteniendo la información necesaria, en el caso del zooplancton se estandarizo a org/100 m³.

Para el análisis de las muestras se empleó un microscopio estereoscópico y óptico Para la identificación taxonómica de los organismos, se utilizaron las referencias básicas de identificación del zooplancton: Palomares-García *et al.* (1998), Boltovskoy (1981), Gasca y Suarez-Morales, (1996), Calderón-Pérez *et al.*,

(1989) y Moser, (1996), con el fin de llegar al nivel más bajo de identificación de cada organismo.

Para este trabajo, se empleará el término *taxa* para referirse al nivel identificado (familia, género o especie) en cada uno de los organismos recolectados.

Para el análisis de la comunidad se utilizaron algunos índices de diversidad que se presentan a continuación.

7.2.1. Riqueza

Se estimó el índice de Margalef (Mg). Este índice transforma el número de especies por muestra a una proporción a la cual las especies son añadidas por expansión de la muestra. Supone que hay una relación funcional entre el número de especies y el número total de individuos $S=k\sqrt{N}$ donde k es constante (Magurran, 1998).

Donde:

$$D_{Mg} = \frac{S-1}{\ln N}$$

S= número de especies

N=número total de individuos

7.2.2. Diversidad

Para la determinación de la diversidad de especies dentro del sistema, se utilizó el índice de Shannon-Weiner (Brower y Zar, 1977), este índice refleja la heterogeneidad de una comunidad sobre la base de dos factores: el número de especies presentes y la abundancia relativa. Se recurre a este índice ya que asume que los individuos son seleccionados al azar y que todas las especies están representadas en la muestra (Shannon y Weaver. 1964). La fórmula es la siguiente:

Donde:

$$H = -\sum_{i=1}^s p_i \ln p_i$$

H = Índice de diversidad

s=Número de especies

p_i = Proporción del total de la muestra perteneciente a las "i" especie.

7.2.3. Índice de Pielou

Si todas las especies en una muestra presentan la misma abundancia el índice usado para medir la equitatividad debería ser máximo y, por lo tanto, debería decrecer tendiendo a cero a medida que las abundancias relativas se hagan menos equitativas. Hurlbert (1971) destacó que todos los índices de equitatividad mantendrían esta propiedad si son expresados como (Alcolado, 1998):

Donde:

D =índice de diversidad

$$E = \frac{D - D_{min}}{D_{max} - D_{min}}$$

D_{min} = valor mínimo de D

D_{max} = valor máximo de D

Índice de Pielou (1969), J' . Es uno de los índices más utilizados:

$$J' = \frac{H'}{\log_2 S}$$

Donde:

H' = índice de Shannon-Wiener

$\log_2 S$ = es la diversidad máxima (H') que se obtendría si las distribuciones de las abundancias de las especies en la comunidad fuesen perfectamente equitativas.

$$H'_{max} = -S \left(\frac{1}{S} \times \log_2 \frac{1}{S} \right) = \log_2 S$$

7.2.4. Dominancia

Para estimación de la dominancia de los grupos zooplanctónicos dentro de una comunidad, Se utilizó el índice de Simpson.

Donde:

$$\lambda = \sum p_i^2.$$

P_i = abundancia proporcional del grupo i , es decir, el número de individuos del grupo i dividido entre el número total de grupos por muestras. Para los análisis mencionados anteriormente se utilizó el programa de Past.v.4.11 (Hammer *et al.*, 2001).

7.2.5. Índice de valor de importancia (IVI)

Es un indicador de la dominancia global por especie, basado en rangos y puntajes. El índice de valor de importancia (IVI) es un índice estructural, ponderado desarrollado principalmente para jerarquizar la dominancia utilizando para obtener un valor a nivel de especie denominado (Salinas, 1990). La composición del zooplancton se determinó por el índice de valor de importancia.

$$IVI = \frac{(A + D + F)}{3}$$

Aunque, se hizo una modificación a la fórmula del (IVI) utilizando solo abundancia y frecuencia dividiendo entre dos, para obtener la dominancia de la especie más representativa, cabe mencionar que también se utilizó el índice de Simpson para obtener la estimación de la dominancia y con el (IVI) la especie más dominante, para obtener mejores resultados. Como se menciona anteriormente, se muestra la fórmula (modificada) utilizado para la dominancia.

$$IVI = \frac{AR + FR}{2} * 100$$

Donde:

Abundancia: número de individuos por especie que se encuentran en la comunidad. AR = abundancia relativa porcentaje de los individuos de cada especie con relación al total que conforman la comunidad o subcomunidad, respecto a la abundancia total (número de individuos de la especie) (Soler *et al.*, 2012).

$$AR = \frac{\text{Abundancia absoluta de cada especie}}{\text{Abundancia total}} * 100$$

Frecuencia: es el número de veces que una especie se presenta en una cantidad dada en puntos de muestreo. Se obtiene por medio de la contribución de cada especie a la constitución de la comunidad mediante la fórmula: FR= frecuencia relativa aparición por muestreo

$$FR = \frac{\text{Frecuencia de aparición absoluta de cada especie}}{\text{Frecuencia total absoluta de cada especie}} * 100$$

Con lo anterior, se obtuvo el **IVI**, la importancia ecológica de las especies.

7.2.6 Clasificación de los subsistemas hidrológicos

Como lo describió Tapia-García *et al.* (2011), la laguna Mar Muerto presenta tres subsistemas hidrológicos en su interior, por lo que las estaciones de muestreo quedaron divididas de la siguiente manera: el subsistema eurihalino incluye las estaciones 1, 2, 3, el subsistema de transición las estaciones 4, 5, 6, 7, y el subsistema marino las estaciones 8, 9, 10, 11, 12.

7.2.7 Análisis de similitud (ANOSIM) y Porcentaje de similitud (SIMPER)

Para la evaluación de las diferencias en cuanto a la estructura de la comunidad zooplanctónica entre la abundancia de especies en los tres subsistemas hidrológicos de la laguna, se realizó un Análisis de Similitud (ANOSIM) por Bray-Curtis (Lugo González *et al.*, 2013).

Posteriormente, fue complementando con el análisis de similitud porcentual (SIMPER) de Bray-Curtis, el cual permitió establecer las principales especies que contribuyen a la diferenciación de los subsistemas de ecológicos (Clarke, 1993). Ambos análisis se realizaron en el programa Past.v.4.11 (Hammer *et al.*, 2001).

7.2.8. Análisis cuantitativo en los microplásticos

Se analizaron los microplásticos (MP) presentes en cada muestra recolectada de zooplancton. Para el procesado de las muestras se utilizó uno de los principales métodos empleados en el tracto gastrointestinal que se han aplicado en especies de grupos zoológicos. El método de tipo alcalino consiste en la utilización de (KOH o NaOH), debido a que tiene la capacidad de digerir la materia orgánica, obteniendo una mayor recuperación de los polímeros artificiales como los plásticos (Acevedo-Quilis, 2020).

Las digestiones alcalinas actúan mediante la hidrólisis de enlaces químicos y desnaturizado proteico de la matriz orgánica (Lusher *et al.*, 2017a). Este método, se fundamentan en la digestión de las muestras y el posterior filtrado y/o separación de los MP, si bien presentan menor capacidad de digestión en comparación con las

digestiones acidas por lo que genera mayor residuo en las digestiones alcalinas hasta un 28% en las muestras (Acevedo-Quilis, 2020).

Utilizando el método alcalino, 1) Se trasvasaron todos los frascos con muestras del zooplancton, agregando el agente químico que degradó la materia orgánica en la muestra en KOH (Hidróxido de potasio) al 20%, diluido en 1 litro de agua destilada 2) Una vez, agregado se mantuvo a 60° C por 48 horas, en una estufa.

3) Seguidamente, se inició con el primer tamiz de pvc, con una malla de alrededor de 50 µm y el segundo de 100 µm para separar de la fase inorgánica a la orgánica. 4) Se tomó una primera filtración con el tamiz de 50 µm, después el tamiz de 100 µm, tirando la muestra sobre una pared del tamiz de tal manera, que se vierta sobre esta muestra, de modo que cuando se recuperó fue más sencillo de quitarlo del tamiz, (para la recuperación se utilizó una piseta con agua destilada), recuperándolo en otro frasco.

5) Retomando el mismo método con el zooplancton, haciéndolo por medio de alícuotas, se estructuró el método para los (MP), para la facilitación en el análisis de las muestras.

6) Se traspasó a una placa de Petri, para posteriormente ser identificadas en un microscopio estereoscopio tomando las medidas convencionales, en este caso se contó y se clasificó en sus tres formas simples (fibra, lámina y gránulo) establecido por Frías y Nash, 2019; Olmos-Espinar, 2021) y en colores. Por último, se guardó y se etiquetó en frascos de vidrio para obtener una mejor preservación del microplástico.

VIII. RESULTADOS

Se tuvo una estandarización total de abundancia de 60 437 org/100 m³ del zooplancton siendo los de mayor abundancia los copépodos, (24 785 org/100 m³), decápodos (21 232 org/100 m³), quetognatos (7 439 org/100 m³) y por último los peces (6 980 org/100 m³) (Figura 6).

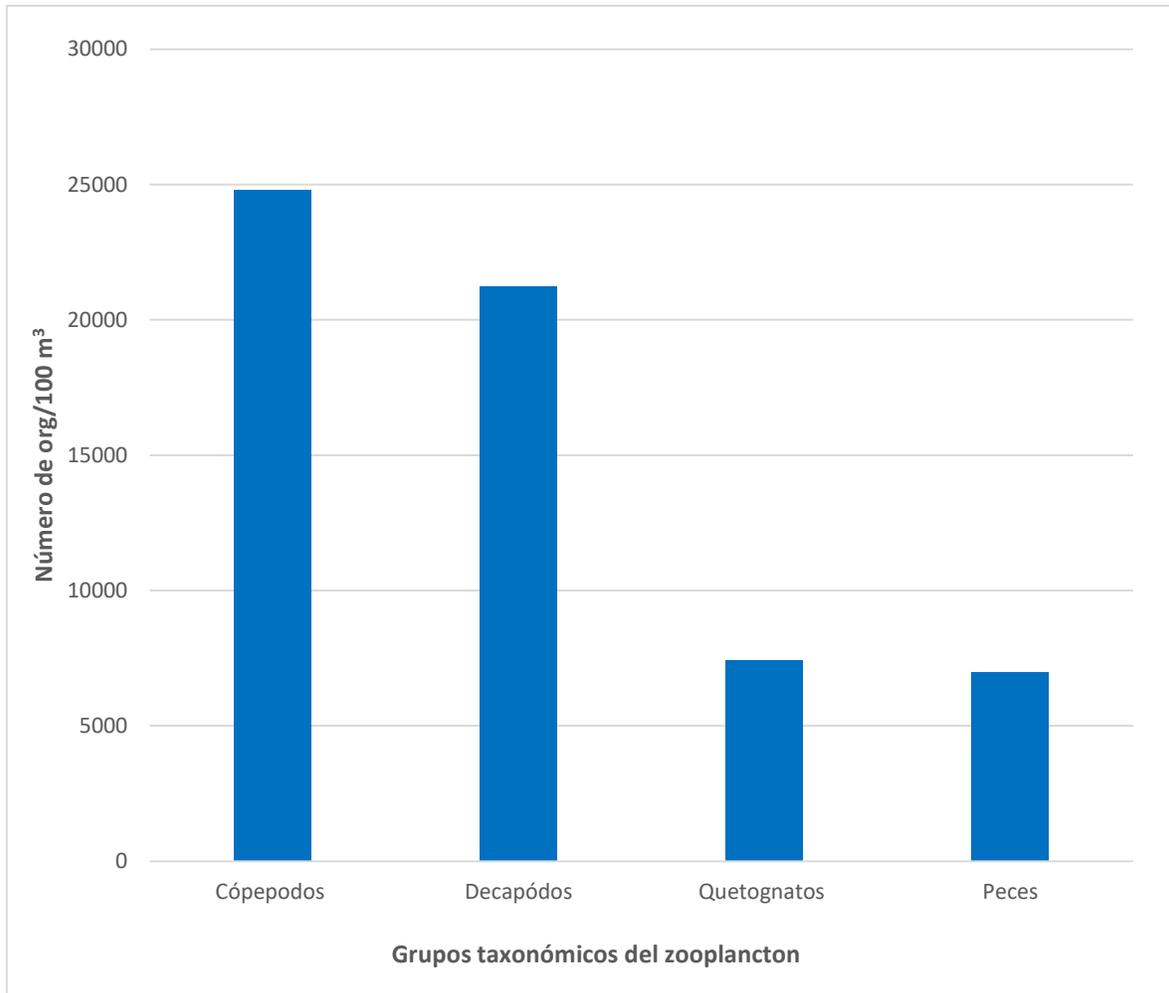


Figura 6. Abundancia total del zooplancton en la laguna Mar Muerto. México.

Las familias del zooplancton más abundantes, fueron Penaeidae con 16 029 org/100 m³, seguida de los Arcatiidae con 9 861 org/100 m³, Sagittidae con 7 439 org/100 m³ y Portunidae con 5 203 org/100 m³ (Figura 7).

Los estadios tempranos de peces más abundantes fueron de la familia de Carangidae (huevos 4 507 org/100 m³ y larvas con 340 org/100 m³).

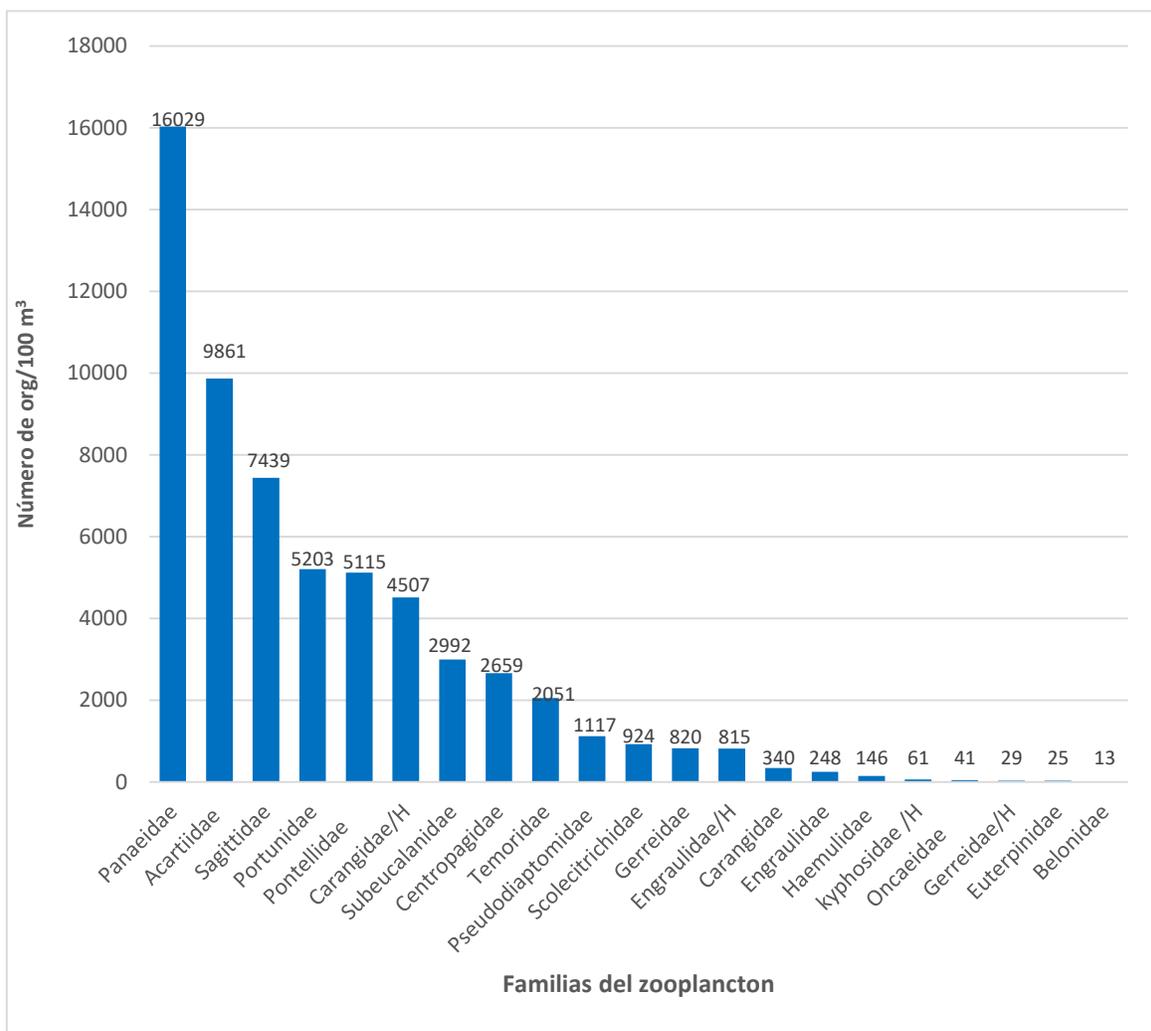


Figura 7. Abundancia de las familias del zooplancton de la laguna Mar Muerto, México.

8.1 Composición taxonómica

La composición taxonómica se compuso de 18 familias, 18 géneros y 15 especies basando en Alvaríño (1963), Boltovskoy (1981), Suárez-Morales (1994) y Palomares-García *et al.* (1998) y Nelson (2016) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Orden sistemático de las especies registradas de zooplancton dentro de la laguna Muerto, México.

Phylum: Arthropoda

Subphyllum: Crustacea

(A) Clase: Maxillopoda

Infraclase: Necopepoda

Superorden: Gymnoplea

I. Orden: Calanoida
Superfamilia: Diaptomoide

(1) **Familia: ACARTIIDAE (Sars, 1903)**

Género: Acartia (Dana 1846)

Subgenero: Odontacartia (Steuer, 1915)

(1) Especie: *Acartia lilljeborgii* (Giesbrecht, 1889)

(2) **Familia: CENTROPAGIDAE (Giesbrecht, 1892)**

Género: Centropages (köyer, 1849)

(2) Especie: *Centropages furcatus* (Dana, 1849)

(3) **Familia: PONTELLIDAE (Dana, 1853)**

Género: Labidocera (Lubbork, 1853)

(3) Especie: *Labidocera acuta* (Dana, 1849)

(4) **Familia: PSEUDODIAPTOMIDAE (Sars, 1902)**

Género: Pseudodiaptomus (Herrick, 1884)

(4) Especie: *Pseudodiaptomus wrighti* (Johnson, 1964)

(5) **Familia: TEMORIDAE**

Género: Temora (Baird, 1850)

(5) Especie: *Temora discuadata* (Giesbrecht, 1889)

Superfamilia: Clausocalanoidea

(6) **Familia: SCOLECITRICHIDAE**

Género: Scolecithricella (Sars G.O., 1902)

(6) Especie: *Scolecithricella* sp.

Superfamilia: Eucalanoidea

(7) **Familia: SUBEUCALANIDAE (Giesbrecht, 1893)**

Género: *Subeucalanus* (Geletin, 1976)

Superorden: Podoplea

II. Orden: Cyclopoida

(8) **Familia: ONCAEIDAE (Giesbrecht, 1893)**

Género: Oncaea sp. (Giesbrecht, 1892)

Orden: Harpacticoida

(9) **Familia: EUTERPINIDAE (Brian, 1921)**

Género: Euterpina (normanda, 1903)

(7) Especie: *Euterpina acutifrons* (Dana, 1848)

(B) Clase: Malacostraca

i. Orden: Decapoda

Suborden: Dendrobranchiata

Infraorden: Caridea

(10) **Familia: PENAEIDAE**

Género: Litopenaeus

(8) Especie: *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931)

(9) Especie: *Litopenaeus stylirostris* (Stimpson, 1871)

Género: Farfantepenaeus

(10) Especie: *Farfantepenaeus californiensis* (Holmes, 1900)

Infraorden: Brachyura

(11) **Familia: PORTUNIDAE**

Género: *Callinectes* (Stimpson, 1860)

Phylum: Chaetognatha

(C) Clase: Sagittoidea

1. Orden: Aphragmophora (Tokioka, 1965)

(12) **Familia: SAGITTIDAE (Claus y Grobben, 1905)**

Género: Parasagitta (Quoy y Gaimard, 1827)

(11) Especie: *Parasagitta euneritica* (Alvariño, 1952)

Género: Flaccisagitta (Tokiaba, 1965)

(12) Especie: *Flaccisagitta enflata* (Grassi, 1881)

Phylum: Chordata

(D) Clase: Actinopterygii

Infraclase: Teleostei

a. Orden: Clupeiformes

(13) **Familia: ENGRAULIDAE**

Género: Anchoa (Jordan y Evermann, 1927)

(13) Especie: *Anchoa lucida* (Jordan y Gilbert, 1882)

b. Orden: Beloniformes
(14) **Familia: BELONIDAE**

Género: *Strongylura*

(14) Especie: *Strongylura exilis* (Girard, 1854)

a. Orden: Perciformes
(15) **Familia: CARANGIDAE**

Género: *Oligoplites* (Gill, 1863)

(16) **Familia: GERREIDAE**

Género: *Eucinostomus* (Baird y Girard, 1855)

(15) Especie: *Eucinostomus gracilis* (Gill, 1862)

(17) **Familia: HAEMULIDAE**

(18) **Familia: KYPHOSIDAE**

A partir de esta sección se presentarán a los géneros, familias y especies como *taxa*, al referirse en el apartado de riqueza de especies que fue asignado para cada subsistema presente en la laguna Mar Muerto.

8.2 Biomasa zooplanctónica

La suma del volumen total de la biomasa zooplanctónica por estación se muestra para el periodo de estudio lluvias e inicio de secas. En general, las estaciones con mayor biomasa se observaron al sureste de la laguna, particularmente en las estaciones 11, 10, 7 y 9 y las de menor biomasa al noreste, en las estaciones 1, 2, 3, 5. El valor promedio más alto fue 0.0171 ml/100 m³ en secas, y el más bajo 0.0151 ml/100 m³ en lluvias (Figura 8).

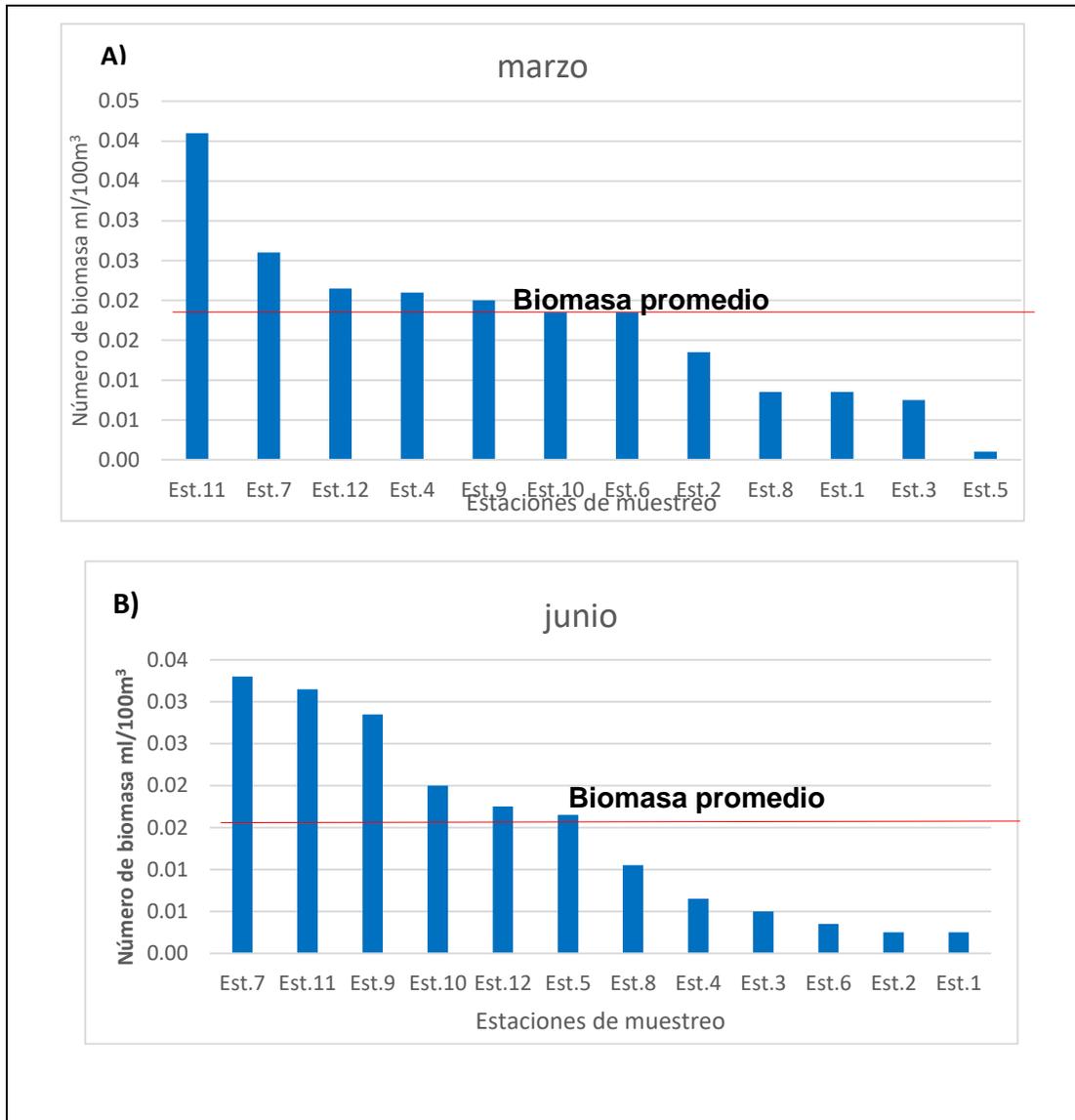


Figura 8. Variaciones temporales de la biomasa zooplanctónica en los meses de muestreo, A) marzo y B) junio en la laguna Mar Muerto, México.

8.3 Porcentaje de composición de especies

Las especies con mayor porcentaje de abundancia se presentaron temporalmente en marzo (Figura 9 A), siendo las especies más abundantes *A. lilljeborgii*, (21.12%), *L. vannamei*, (20.89%) y *P. euneritica* (11.98%). En junio, (inicio de lluvias) las especies más abundantes fueron *F. californiensis* (18.88%), *L. vannamei*, (14.15 %) y *P. euneritica* 13.69% (Figura 9 B).

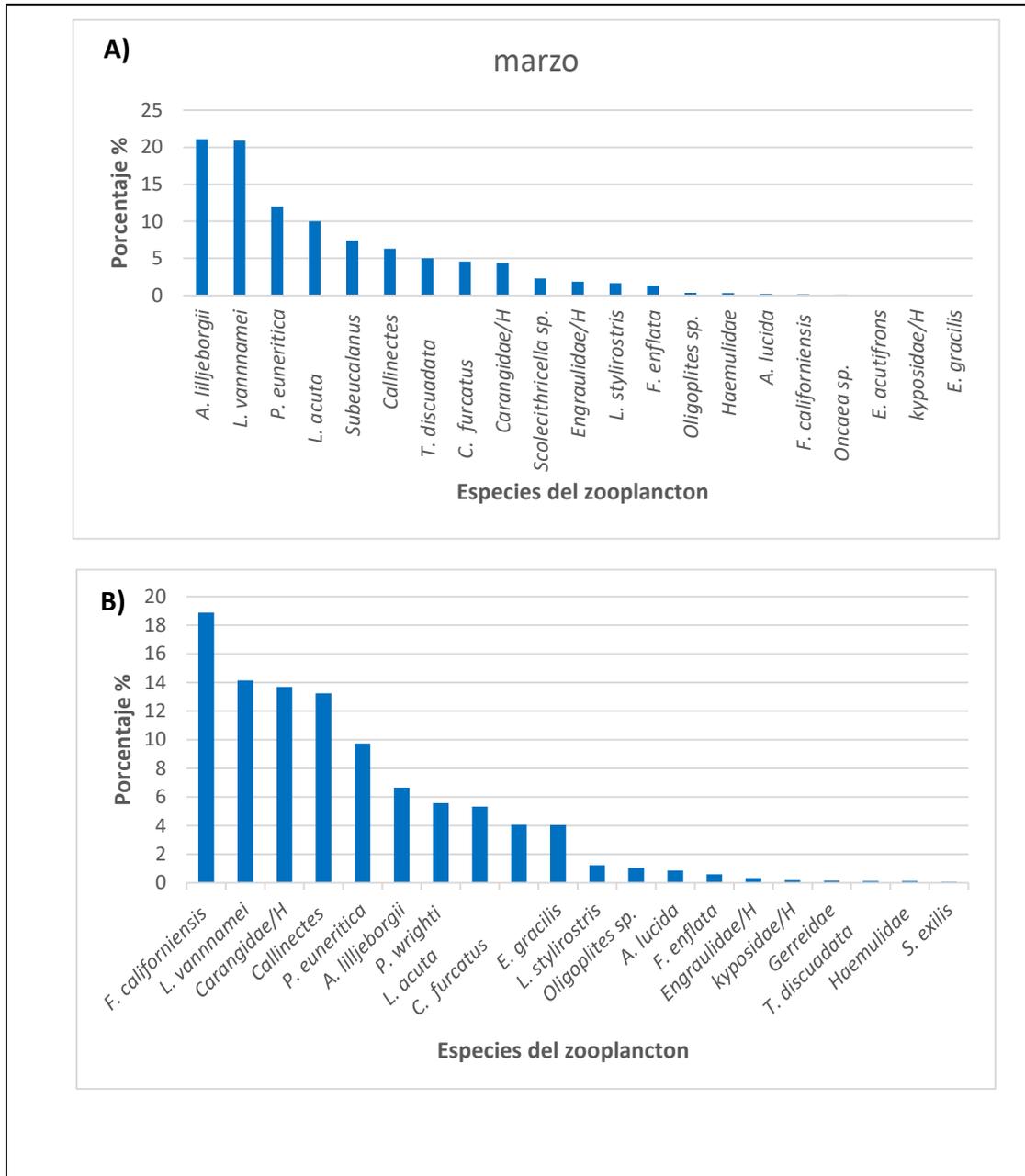


Figura 9. Porcentaje de composición de especies del zooplancton A) marzo (secas) y B) junio (lluvias).

El porcentaje total de abundancia para ambas temporadas en las 12 estaciones de muestreo, muestran que las especies más abundantes fueron *L. vannamei*, 18.65%, *A. lilljeborgii* 16.32%, y *P. euneritica* 11.23% (Figura 10).

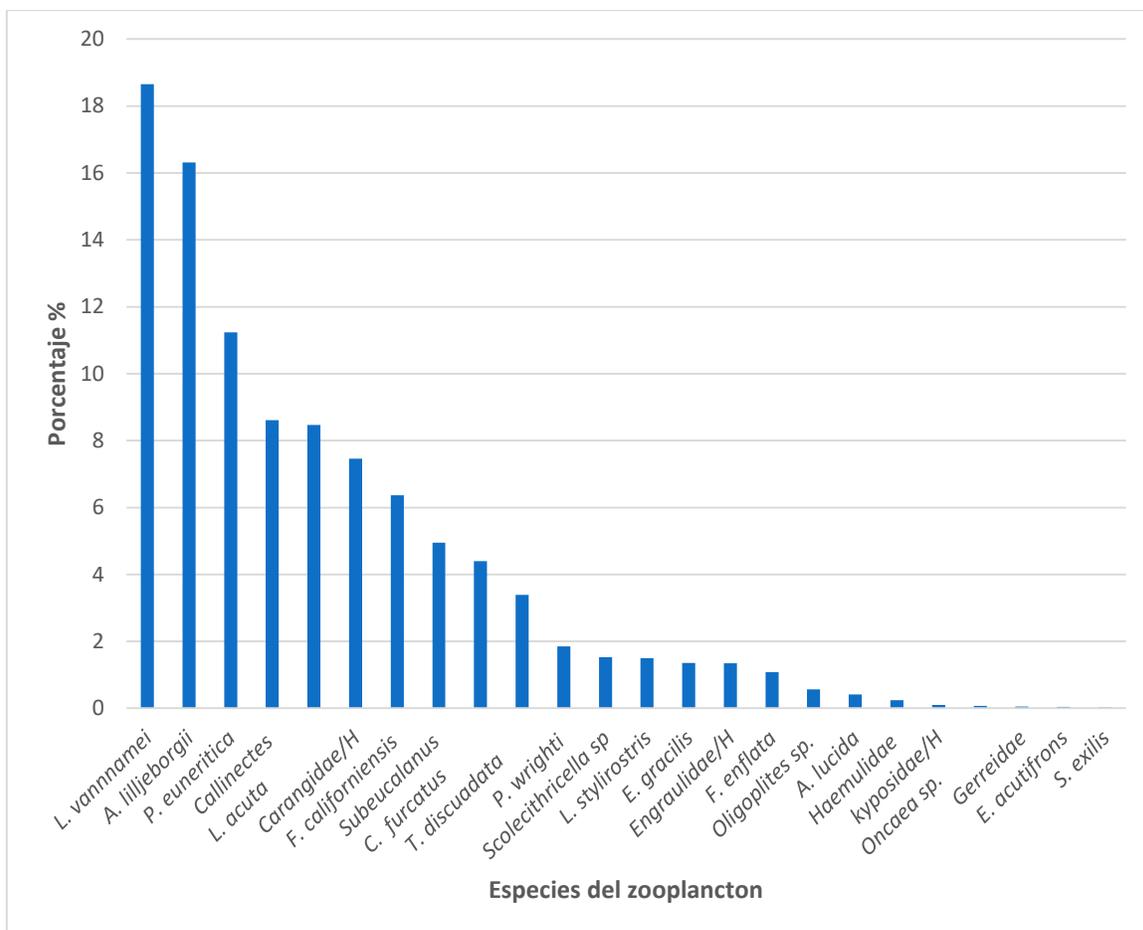


Figura 10. Porcentaje total en la composición total de especies del zooplancton en ambas temporadas (secas e inicio de lluvias).

8.4 Dominancia de especies en (IVI)

El índice de valor de importancia (IVI) modificado, para todo el periodo de muestreo, denota que las especies dominantes en orden de magnitud fueron *L. vannamei*, *A. lilljeborgii*, *P. euneritica*, *Callinectes*, huevos y larvas de peces de la familia Carangidae (Figura 11).

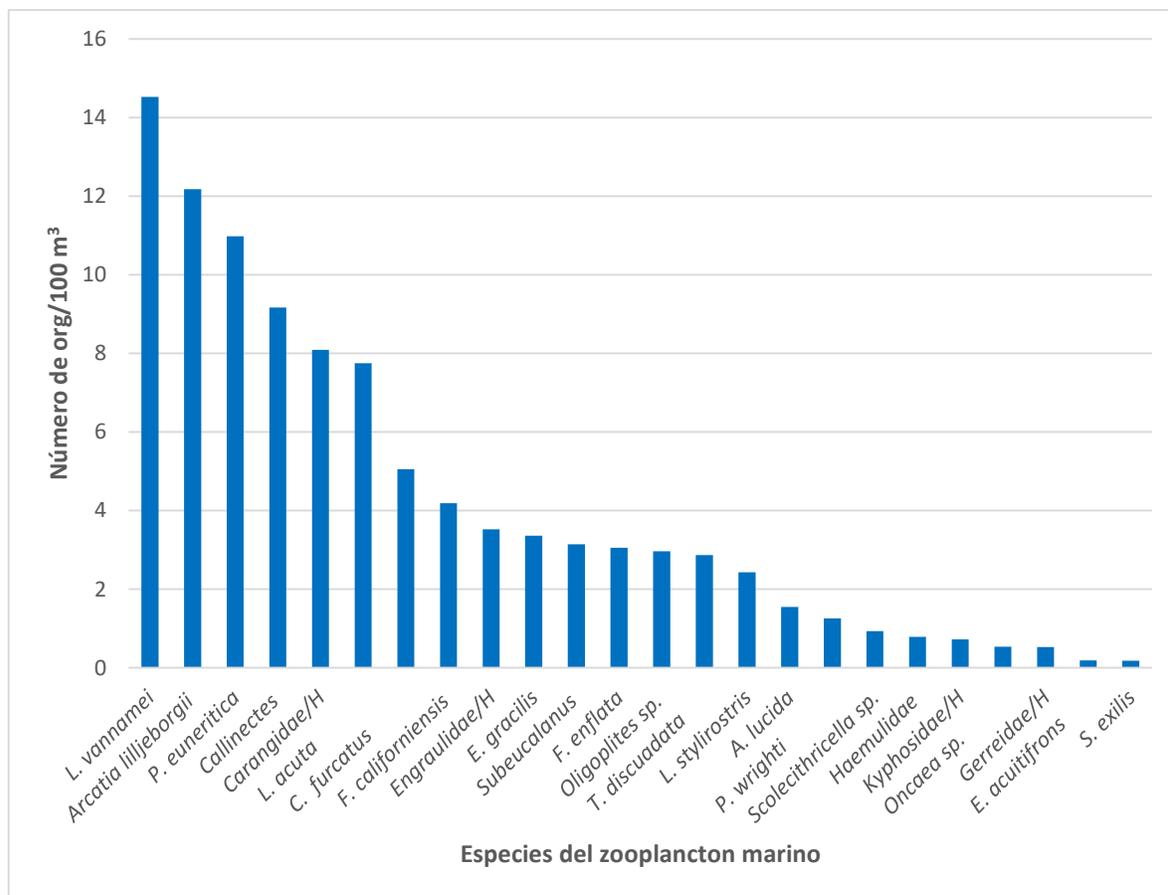


Figura 11. Las especies dominantes con el (IVI) modificado, indicando de mayor a menor las especies presentes del zooplancton.

8.5 Parámetros comunitarios

Los parámetros comunitarios mostraron que para el índice de Margalef (Mg) el valor más alto fue 1.64 en la estación 7 y el más bajo 0.94 en la 5 (Cuadro 2). A nivel temporal el mes de junio registró la mayor riqueza de especies con un valor de 1.92, en marzo fue de 1.89 (Cuadro 3).

El valor más alto del índice de Shannon-Wiener (H') fue 2.04 en la estación 10 y el más bajo fue 1.20 en la estación 7 (Cuadro 2). Temporalmente el mes con mayor H' fue en junio con 3.35 y el más bajo en marzo con 2.30 (Cuadro 3).

El valor más alto de equidad (J) fue 0.86 en la estación 1 y el más bajo 0.50 en la estación 4 (Cuadro 2). Mientras que, junio tuvo el valor más alto de 0.78 y en marzo el más bajo 0.75 (Cuadro 3).

El índice de Simpson, fue más alto en la estación 10 con 0.84 y el valor más bajo de 0.60 en la estación 4 (Cuadro 2). Así mismo el mes con el valor alto fue 0.88 en junio y el más bajo fue 0.87 el mes de marzo (Cuadro 3).

Cuadro 2. Análisis de los parámetros comunitarios espacial en las 12 estaciones de muestreo con los índices de los valores más altos ○ y los valores más bajos ○ presente en la laguna Mar Muerto, México.

Parámetros comunitarios	Estaciones de muestreo											
	E.1	E.2	E.3	E.4	E.5	E.6	E.7	E.8	E.9	E.10	E.11	E.12
Índice de Margalef (Mg)	1.28	1.13	1.22	1.21	0.94	1.67	1.64	1.08	1.32	1.56	1.58	1.52
Shannon-Weiner (H)	1.99	1.87	1.55	1.20	1.42	1.87	2.01	1.27	1.74	2.04	1.498	1.41
Equidad (J) Índice de Pielou	0.86	0.81	0.70	0.50	0.68	0.67	0.74	0.55	0.68	0.74	0.55	0.52
Índice de Simpson	0.82	0.80	0.67	0.60	0.71	0.79	0.83	0.64	0.77	0.84	0.67	0.64

Cuadro 3. Análisis de los parámetros comunitarios temporales en meses marzo (secas), junio (inicio de lluvias) fueron obtenidos en la laguna Mar Muerto, México.

Variables	Temporal	
	Marzo	Junio
Índice de Margalef (Mg)	1.89	1.92
Shannon-Weiner (H)	2.30	2.35
Equidad (J) Índice de Pielou	0.75	0.78
Índice de Simpson	0.87	0.88

8.6 Clasificación de los subsistemas hidrológicos con relación a los parámetros fisicoquímicos.

Los parámetros fisicoquímicos medidos en los meses de marzo y junio (secas e inicio de lluvia), permitieron conocer la dinámica y las variaciones que presentaron y clasificar las áreas de la laguna en tres subsistemas (Eurihalino, Transición, Marino) definidos por Tapia-García *et al.* (2011) (Figura 12). El subsistema eurihalino estuvo integrado por las estaciones 1,2,3 el subsistema de transición por las estaciones 4,5,6,7 y; el subsistema marino por las estaciones 8,9,10,11,12.

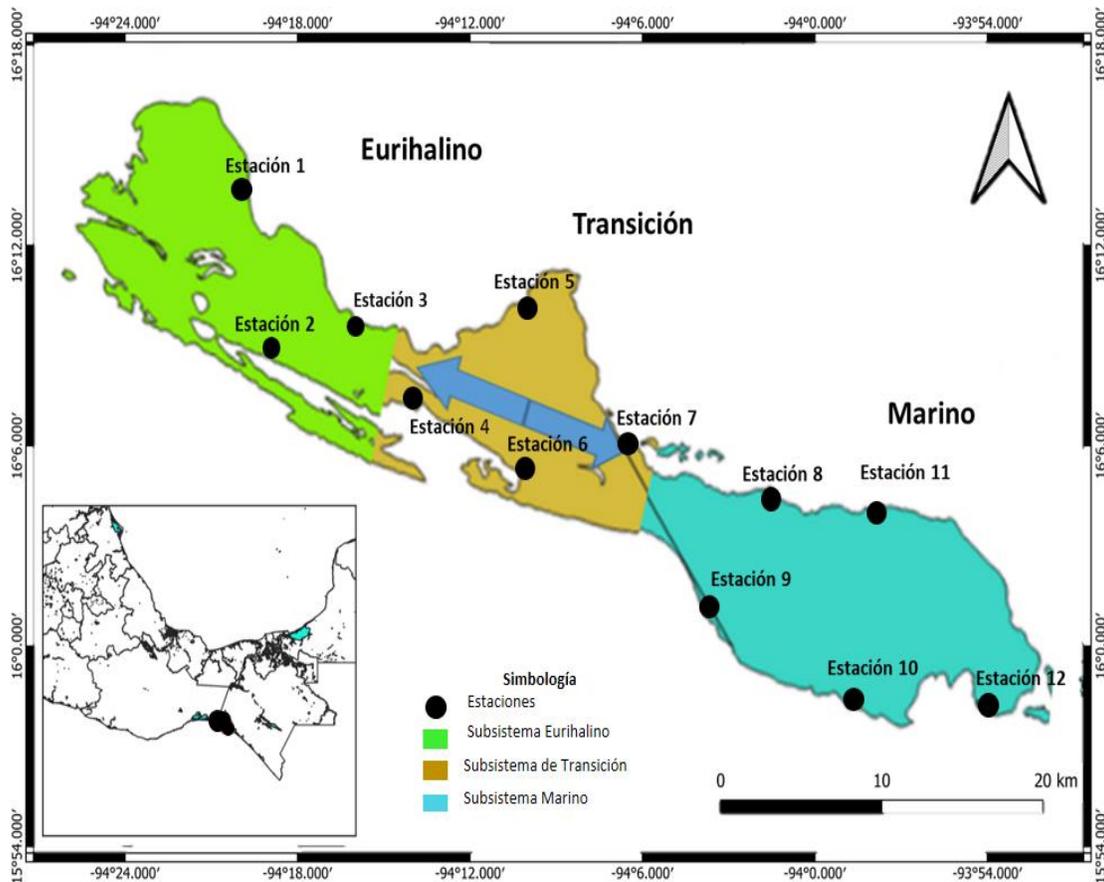


Figura 12. Esquema de los subsistemas hidrológicos en la laguna Mar Muerto, que comprende a las 12 estaciones indicando en que subsistema corresponden, (Verde: Eurihalino, Café: Transición y Azul: Marino).

En la temporada de secas, el subsistema marino mostró los valores más altos de promedio de abundancia de zooplancton (1 339 org/100 m³), riqueza de especies (19 taxa) y biomasa de zooplancton (0.09 ml/100 m³) mientras que el subsistema eurihalino tuvo los valores más bajos de estas tres mismas variables (278 org/100m³, 12 taxa y 0.02 ml/100 m³ respectivamente) (Cuadro 4).

La temperatura más alta fue en el subsistema marino (31.11 ° C) y la más baja en el eurihalino (30.11°C). La salinidad promedio más alta en el subsistema eurihalino (40.57) y la más baja en el marino (37.45). El pH promedio más alto fue en el subsistema marino (8.38) y el más bajo en el eurihalino (8.28). El oxígeno disuelto, promedio más alto fue en el subsistema marino (3.73 mg/L) y el más bajo en el de transición (3.30 mg/L) (Cuadro 4).

Cuadro 4. De los tres subsistemas, se presenta el promedio de cada uno de los parámetros fisicoquímicos de marzo (secas).

Clasificación	Eurihalino	Transición	Marino
Suma (abundancia)	3 334	11 581	25 443
Promedio	278	772	1 339
Riqueza	12	15	19
Biomasa	0.02	0.05	0.09
Temperatura °C	30.11	30.25	31.11
Salinidad	40.57	40.54	37.45
pH	8.28	8.31	8.38
O ₂ mg/L	3.60	3.30	3.73

El inicio de lluvias, la abundancia promedio más alta fue en el subsistema marino (777 org/100 m³) y la más baja en el eurihalino (133 org/100m³). Y los valores tanto de riqueza como de biomasa promedio fueron más altos en el subsistema de transición (18 taxa y 0.57 ml/100 m³ respectivamente) y los más bajos en el eurihalino (10 taxa y 0.01 ml/100 m³ respectivamente) (Cuadro 5).

La temperatura promedio más alto fue 31.19° C en subsistema eurihalino y en el subsistema eurihalino y la más baja fue 24.50° C en el marino. La salinidad

promedio más alta fue 42.20 en el subsistema marino y la más baja fue 37.75 en el eurihalino. El pH promedio más alto fue 8.17 en el subsistema eurihalino y el más bajo fue 7.98 en el marino. El oxígeno disuelto promedio más alto fue 10.57 mg/L en el subsistema marino y el más bajo fue 3.25 mg/L en de transición.

Cuadro 5. De los tres subsistemas, se presenta el promedio de cada uno de los parámetros fisicoquímicos de junio (lluvias).

Clasificación	Eurihalino	Transición	Marino
Suma (abundancia)	1 327	7 097	11 655
Promedio	133	394	777
Riqueza	10.00	18.00	15.00
Biomasa	0.01	0.57	0.06
Temperatura °C	31.19	30.66	24.50
Salinidad	34.75	37.99	42.20
pH	8.17	8.09	7.98
O2mg/L	3.30	3.25	10.57

8.7 Distribución espacial con respecto a los subsistemas hidrológicos

En el periodo de secas, los *taxa* más abundantes fueron: *A. lilljeborgii*, seguida *L. vannamei*, *P. euneritica* y *Callinectes*, ubicándose mayormente en el subsistema marino (Figura 13).

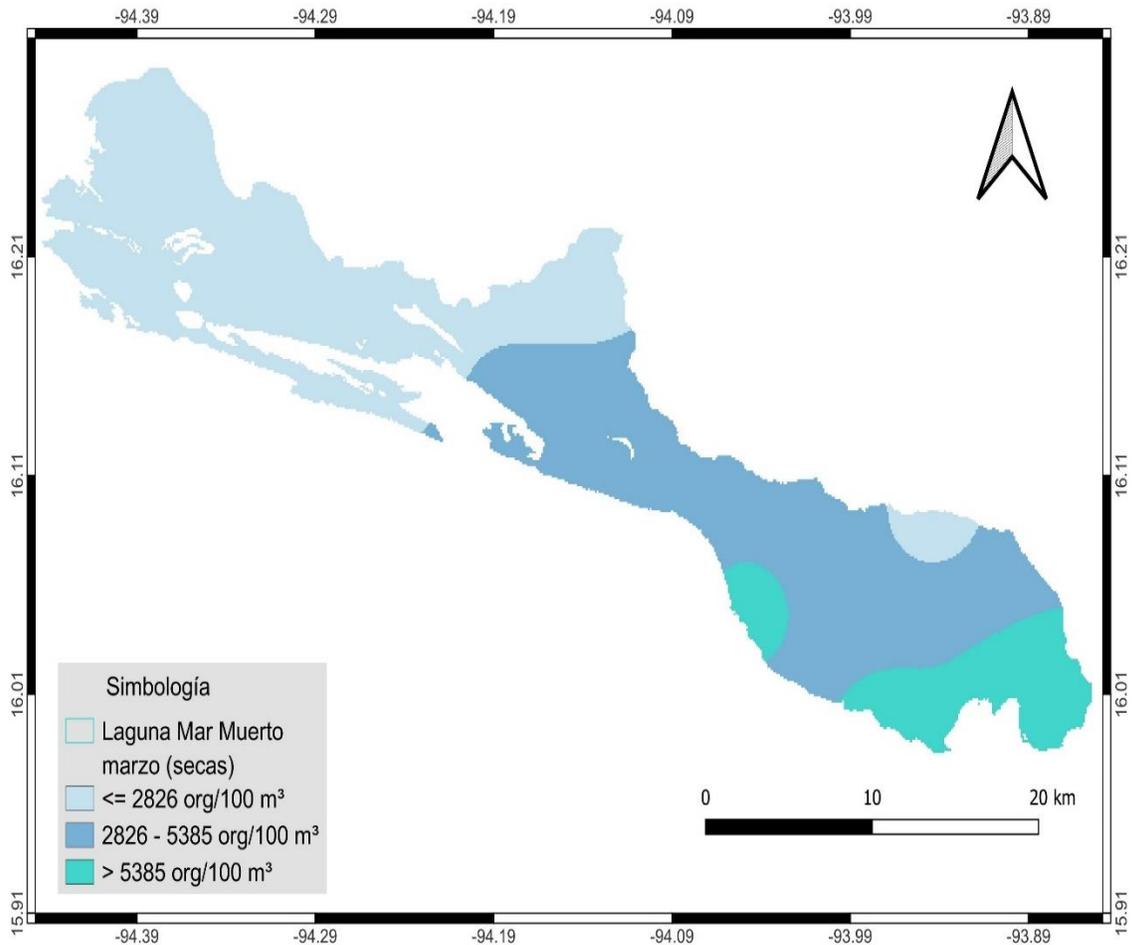


Figura 13. Mapas de distribución espacial en la temporada de secas (marzo), con respecto a los subsistemas hidrológicos en laguna Mar Muerto.

En lluvias, los *taxa* con mayor abundancia fueron: *F. californiensis*, *L. vannamei*, y huevos de la familia Carangidae/H, ubicándose mayormente en el subsistema marino (Figura 14).

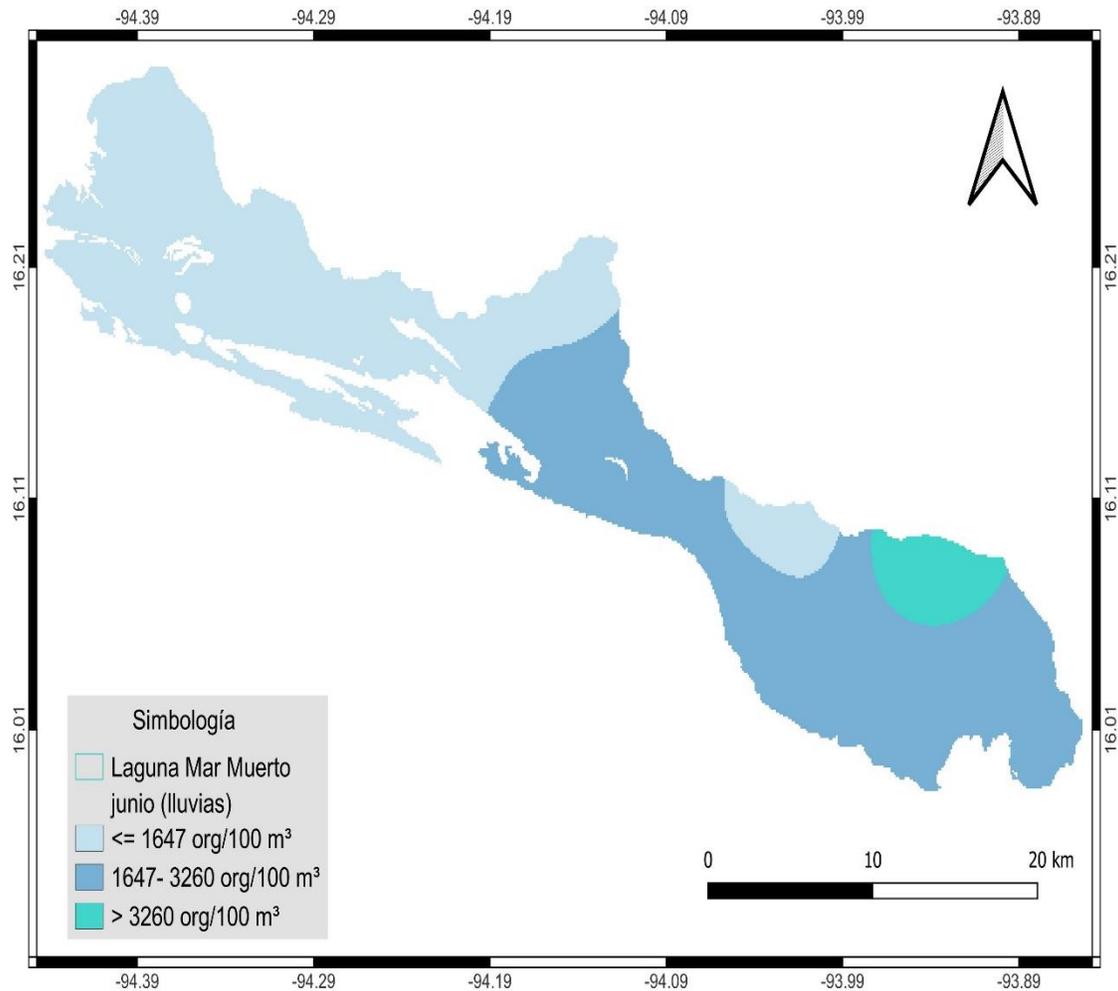


Figura 14. Mapas de distribución espacial en la temporada de junio (lluvias), con respecto a los subsistemas hidrológicos en la laguna Mar Muerto, México.

8.8 Relación de los subsistemas hidrológicos con el zooplancton

Copéodos: Los resultados muestran que los géneros y especies de *A. lilljeborgii*, *L. acuta*, *C. furcatus*, *P. wrighti*, *T. discuadata*, *Scolecithricella* sp., *E. acutifrons*, *Subeucalanus*, y *Oncaea* sp., fueron más abundantes en los subsistemas de transición y marino (Véase en anexo I).

La especie *A. lilljeborgii* tuvo una abundancia total de 5 463 org/100 m³. El promedio en los tres subsistemas fue 2 165 org/100 m³. El valor más alto fue en el marino 1 319 org/100 m³ entre la estación 9 y 10, y el valor más bajo en el subsistema eurihalino con 118 org/100 m³ (Figura 15).

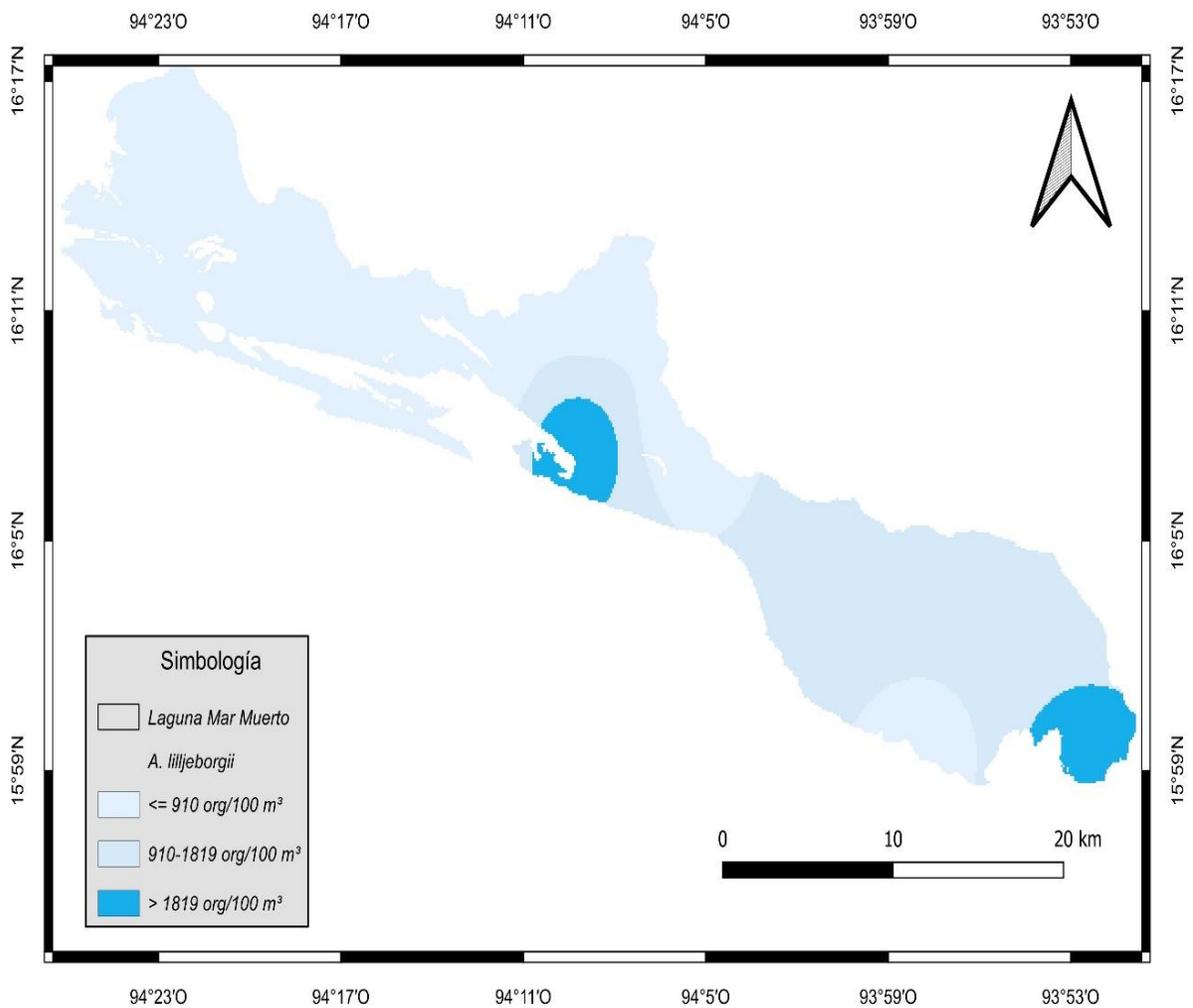


Figura 15. Mapa de distribución de la especie *A. lilljeborgii*, con respecto a los subsistemas hidrológicos en la laguna Mar Muerto, México.

La especie *L. acuta* tuvo una abundancia total de 5 115 org/100 m³. El promedio en los tres subsistemas fue 1 295 org/100 m³. El más alto fue en el eurihalino con 471 org/100 m³ y el más bajo en el subsistema marino con 408 org/100 m³ (Figura 16).

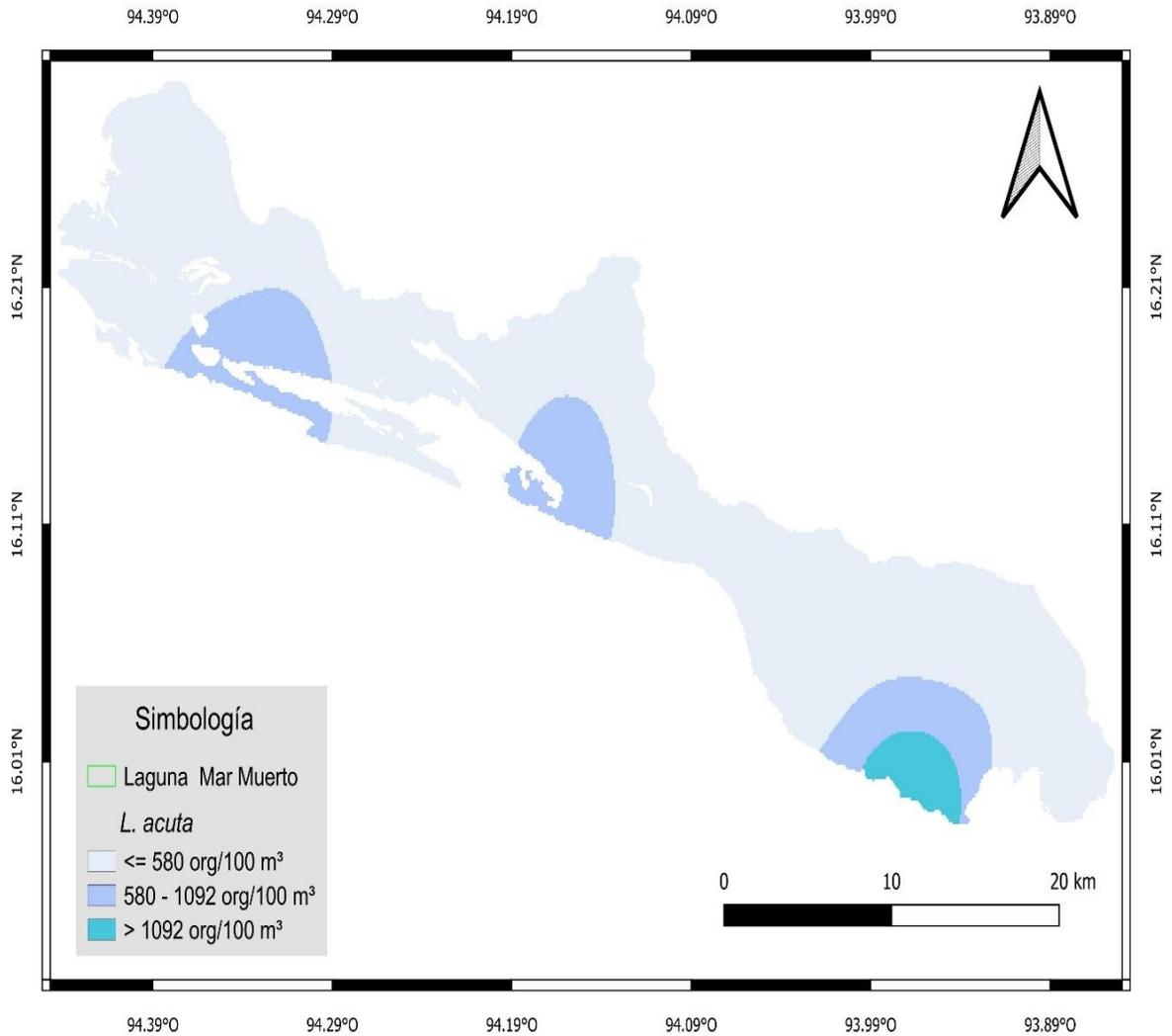


Figura 16. Mapa de distribución de la especie *L. acuta*, con respecto a los subsistemas hidrológicos en la laguna Mar Muerto, México.

Decápodos: Se encontraron tres especies *L. vannamei*, *L. stylirostris*, *F. californiensis* y el género *Callinectes*, mayormente del subsistema marino (Véase en anexo I).

La especie *L. vannamei* tuvo una abundancia total de 11 272 org/100 m³. El promedio en los tres subsistemas fue 2 313 org/100 m³. El valor más alto el marino con 2 084 org/100 m³ y el valor más bajo fue en el subsistema eurihalino con 59 org/100 m³ (Figura 17).

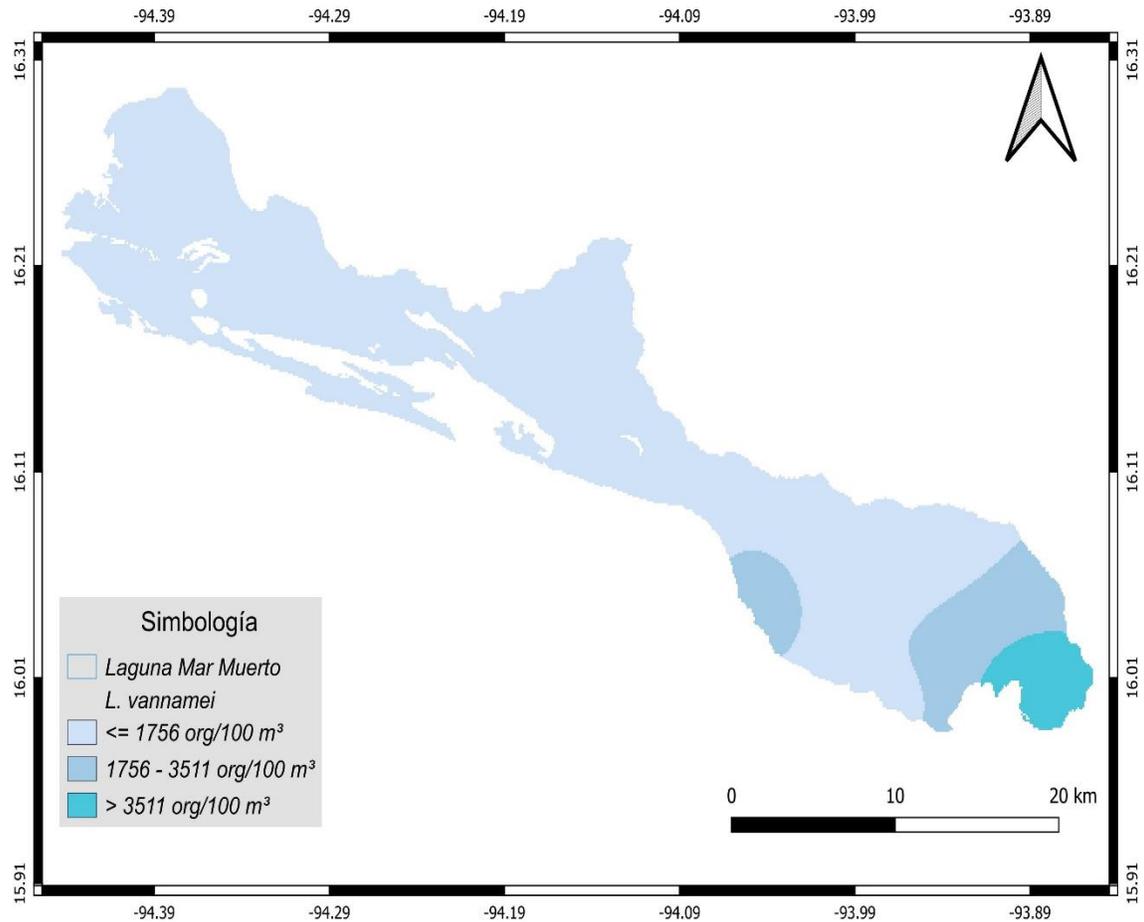


Figura 17. Mapa de distribución de la especie *L. vannamei*, con respecto a los subsistemas hidrológicos en la laguna Mar Muerto, México.

Para el género *Callinectes*, tuvo una abundancia total de 5 203 org/100 m³. El promedio en los tres subsistemas fue 1 175 org/100 m³. El valor más alto fue el de transición con 579 org/100 m³, y el valor más bajo fue en el eurihalino con 45 org/100 m³ (Figura 18).

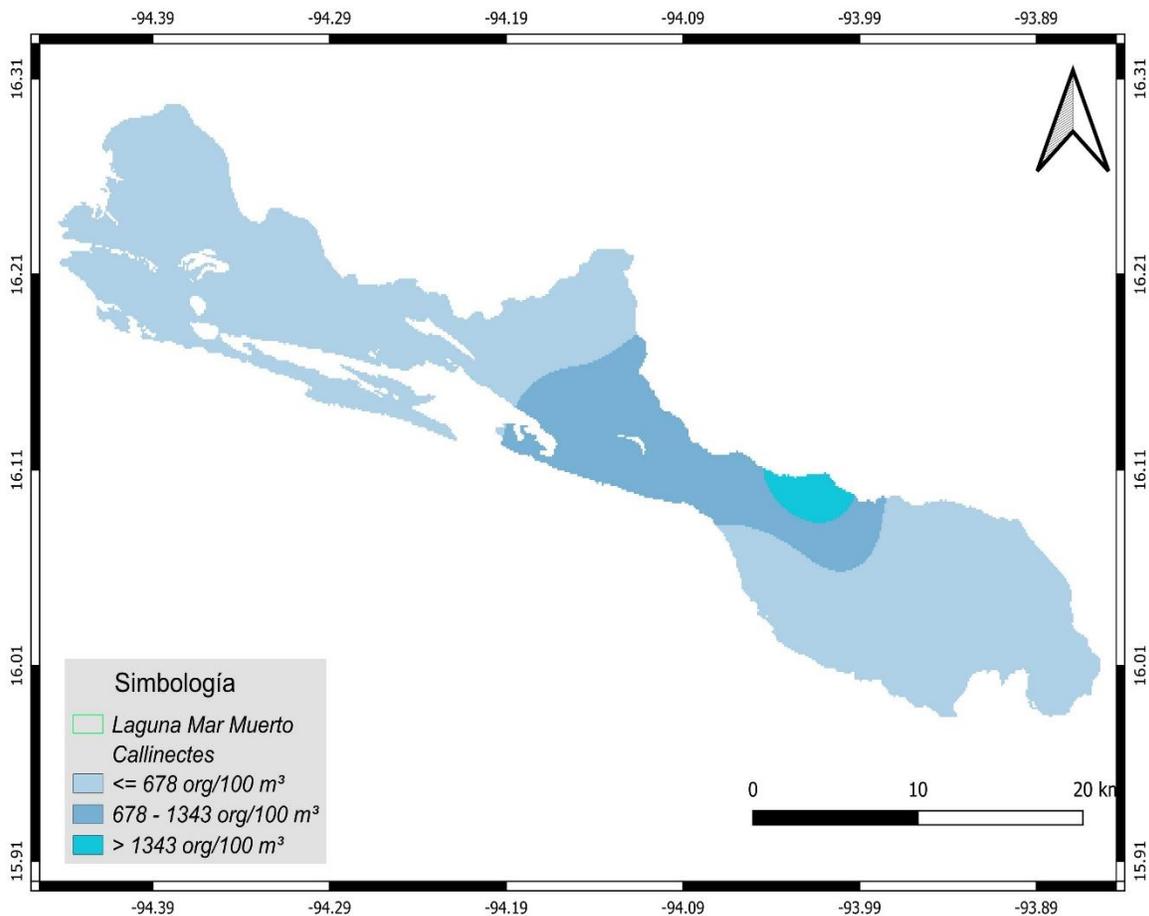


Figura 18. Mapa de distribución de *Callinectes*, con respecto a los subsistemas hidrológicos en la laguna Mar Muerto, México.

Quetognatos: Para este grupo se registraron dos especies *P. euneritica* y *Flaccisagitta enflata*, solo una especie demostró mayor abundancia dentro de la laguna y en casi todas las estaciones de los subsistemas (Vea en anexo I).

P. euneritica tuvo abundancia total de 6 789 org/100 m³. El valor promedio en los tres subsistemas fue 1 705 org/100 m³. El valor más alto fue transición con 1 448 org/100 m³, y el más bajo fue en el marino con 112 org/100 m³ (Figura 19).

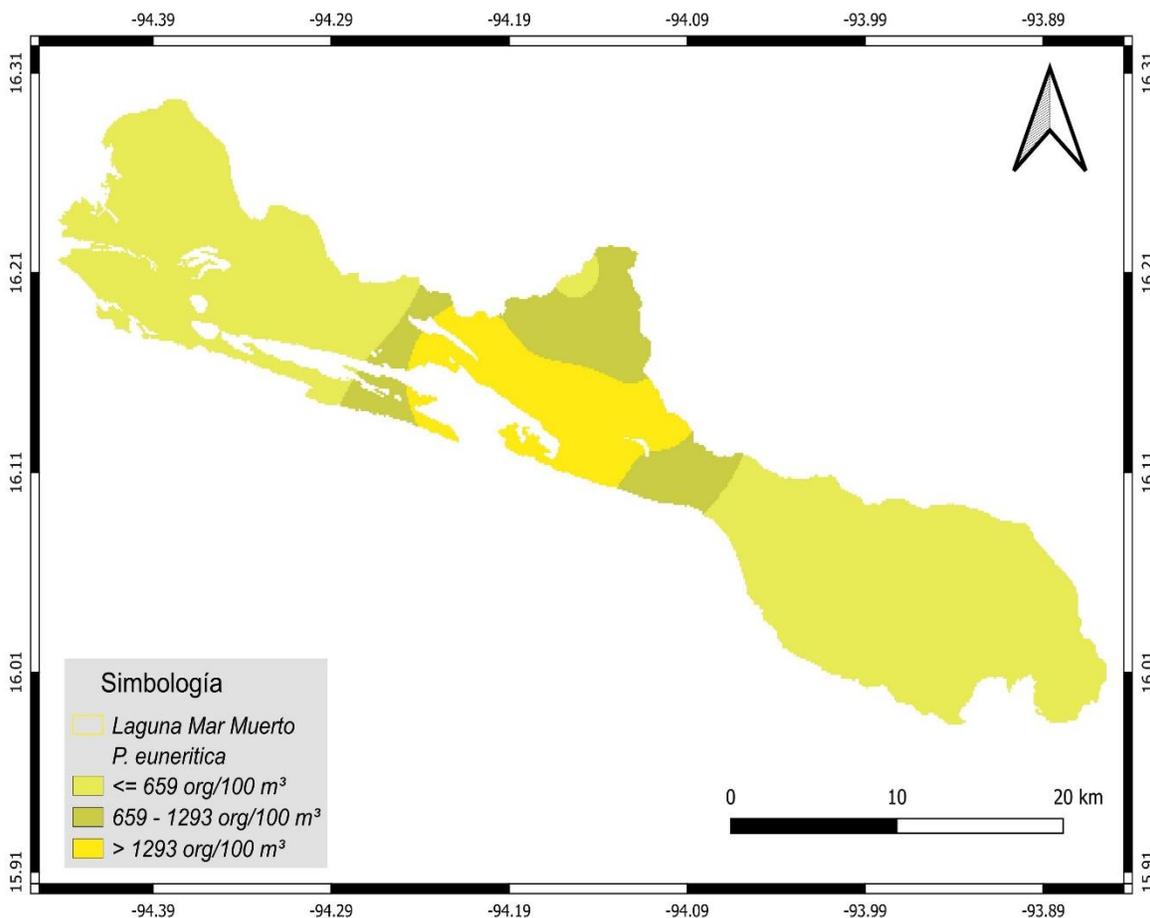


Figura 19. Mapa de distribución de la especie *P. euneritica* con respecto a los subsistemas hidrológicos en la laguna Mar Muerto, México.

Peces: Se reportan las cuatro especies: *A. lucida*, *S. exilis*, *E. gracilis*, *Oligoplites* sp. y las familias: Carangidae/H Engraulidae/H, Haemulidae y Kyphosidae, (Vease en anexo I).

La especie *E. gracilis* tuvo una abundancia total de 820 org/100 m³. El valor promedio de los tres subsistemas fue 232 org/100 m³. El valor más alto fue el eurihalino con 146 org/100 m³, y el valor más bajo fue en el marino con 37 org/100 m³ (Figura 20).

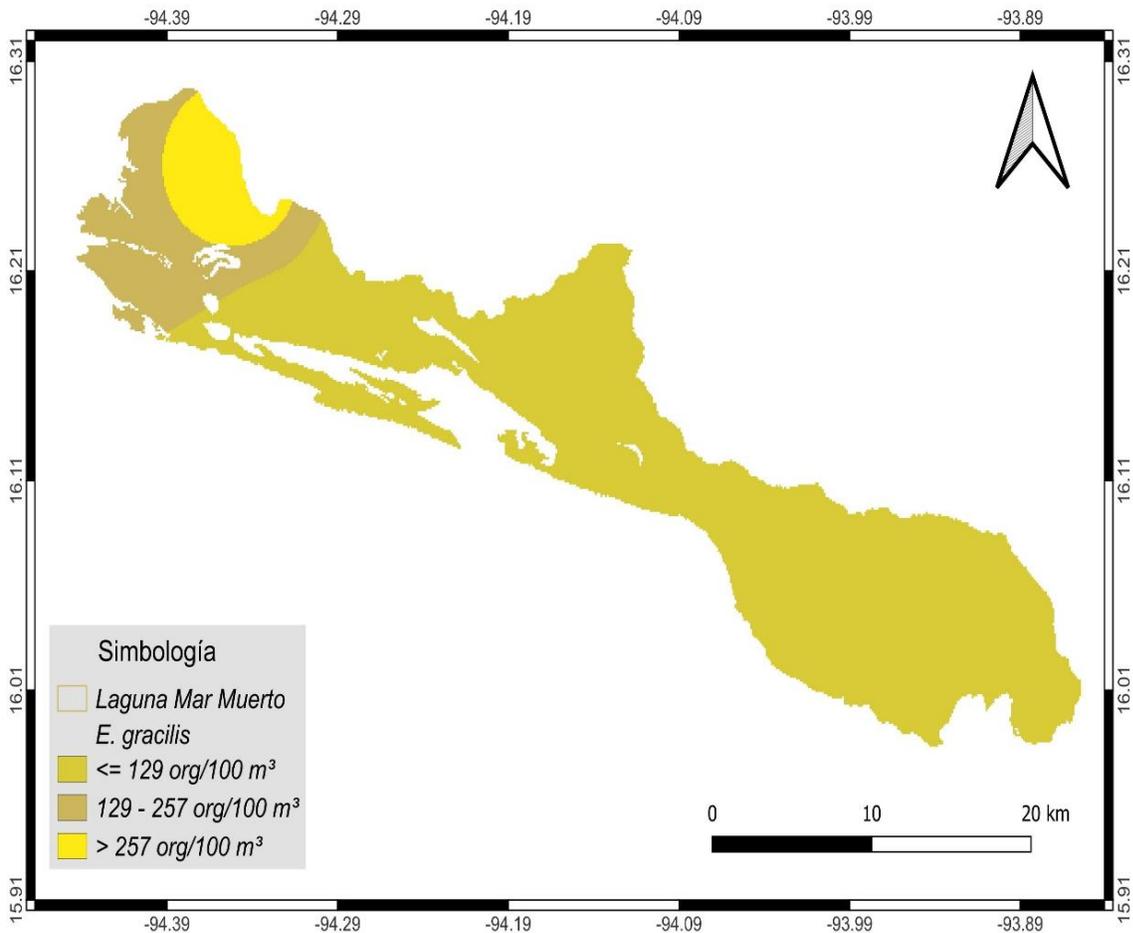


Figura 20. Mapa de distribución de la especie *E. gracilis*, con respecto a los subsistemas hidrológicos en la laguna Mar Muerto, México.

Los huevos de la familia Carangidae tuvieron una abundancia total de 4 507 org/100 m³. El valor promedio para los tres subsistemas fue 1 117 org/100 m³. El valor más alto fue en transición con 765 org/100 m³, y el más bajo fue en el eurihalino con 154 org/100 m³ (Figura 21).

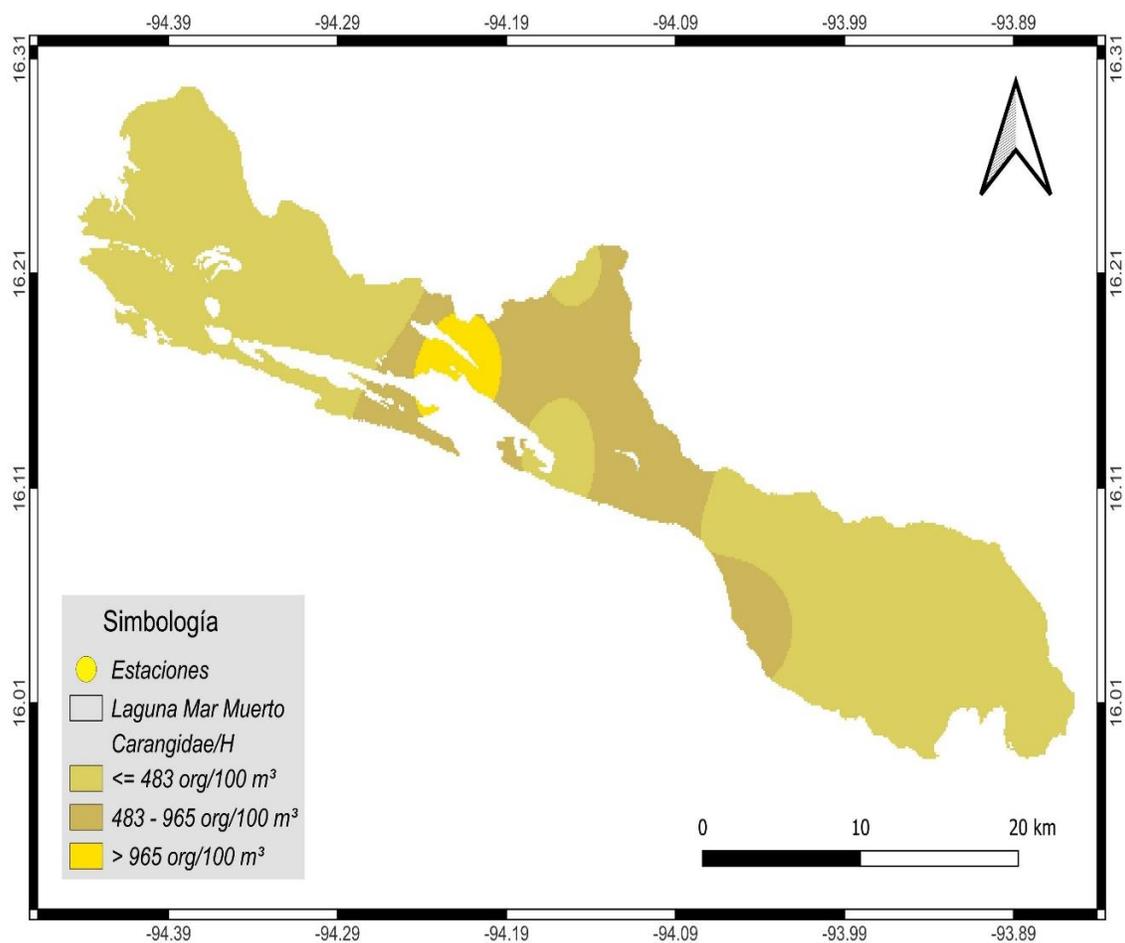


Figura 21. Mapa de distribución de los huevos de familia Carangidae/H, con respecto a los subsistemas hidrológicos en la laguna Mar Muerto, México.

8.9 Análisis de ANOSIM

El ANOSIM, mostró que si existen diferencias significativas dentro de los tres subsistemas $R = 0.4931$, $p < 0.0051$ (Figura 22).

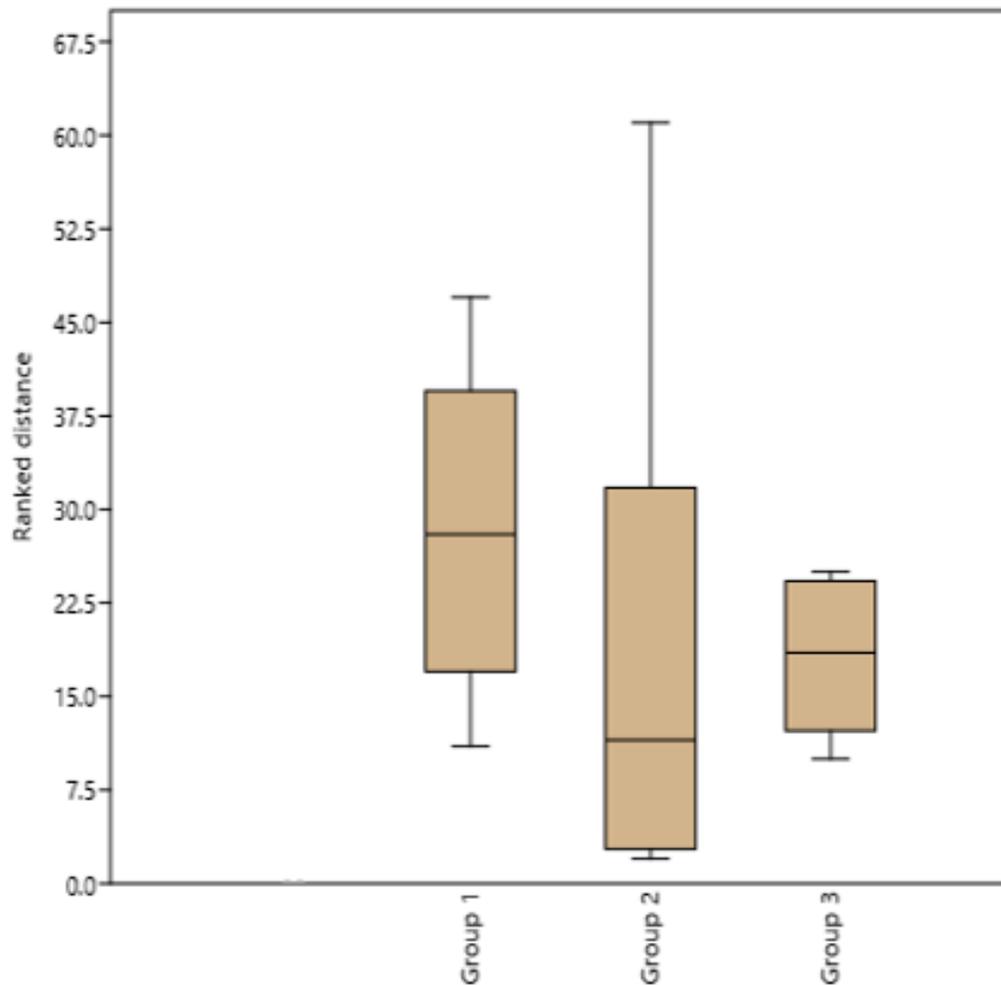


Figura 22. Resultados de (ANOSIM) presentándose en diagrama de caja de los subsistemas (Grupo 1: Eurihalino, Grupo 2: Transición y Grupo 3: Marino).

8.10. Análisis de SIMPER

El análisis de similitud (SIMPER) se registraron los porcentajes y las especies que caracterizan cada subsistema. Se obtuvo más de 70% de similitud y el 30 % de disimilitud. En el Cuadro 6 se presentan cinco especies de cada uno de los subsistemas, ya que se puede observar la variabilidad de especies representativas, como el caso de *A. lilljeborgii*, *L. vannamei*, *L. acuta* y el género *Callinectes*.

Cuadro 6. Análisis de similitudes (SIMPER) en los subsistemas, demostrando los organismos que más contribuyeron a las diferencias.

Especies	Subsistemas		Disimilitud	Contribución %	Acumulativo %
	Eurihalino	Transición			
<i>Callinectes</i>	37	1.08E03	14.85	20.84	20.84
<i>P. euneritica</i>	590	996	13.46	18.88	39.72
<i>A. lilljeborgii</i>	105	1.08E03	13.1	18.38	58.1
Carangidae/H	478	403	8.029	11.27	69.37
<i>L. acuta</i>	376	410	6.089	8.545	77.92
	Eurihalino	Marino			
<i>L. vannamei</i>	53.3	2.51E03	22.72	26.34	26.34
<i>A. lilljeborgii</i>	105	1.28E03	11.2	12.99	39.33
<i>F. californiensis</i>	0	935	10.44	12.1	51.44
<i>Subeucalanus</i>	0	748	7.251	8.408	59.85
<i>L. acuta</i>	376	493	5.226	6.06	65.91
	Transición	Marino			
<i>L. vannamei</i>	257	2.51E03	14.22	18.54	18.54
<i>A. lilljeborgii</i>	1.08E03	1.28E03	11.03	14.18	32.72
<i>P. euneritica</i>	996	111	8.164	10.5	43.22
<i>Callinectes</i>	1.08E03	186	7.845	10.09	53.31
<i>F. californiensis</i>	27	935	6.353	8.169	61.47

8.11. Microplásticos

Los microplásticos tuvieron una abundancia estandarizada total de 9 614 MP/100 m³. El valor más alto fue 809 MP/100 m³ en la estación 6, y el valor más bajo fue 0 MP/100 m³ en la estación 5 (Figura 23).

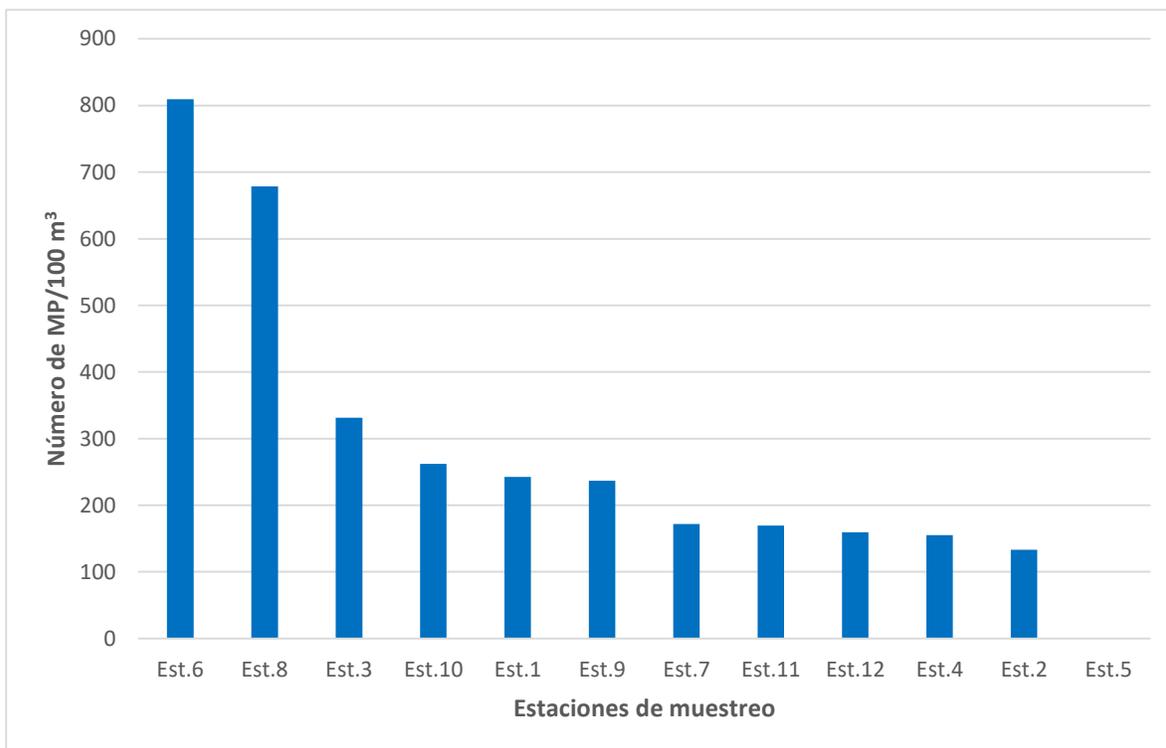


Figura 23. Promedio total de ambas temporadas de muestreo secas e inicio de lluvias, en las 12 estaciones.

8.12 Variaciones temporales de los microplásticos

En secas (marzo) el valor promedio fue 121 MP/100 m³, el valor más alto fue 385 MP/100 m³ en la estación 8 y el valor más bajo fue 0 MP/100 m³ en la estación 5 (Figura 24 A). En inicio de lluvias (junio) el valor promedio fue 279 MP/100 m³, la estación 2 tuvo el valor más alto de 1 026 MP/100 m³ y el más bajo fue 0 MP/100 m³ en la estación 5 (Figura 24 B).

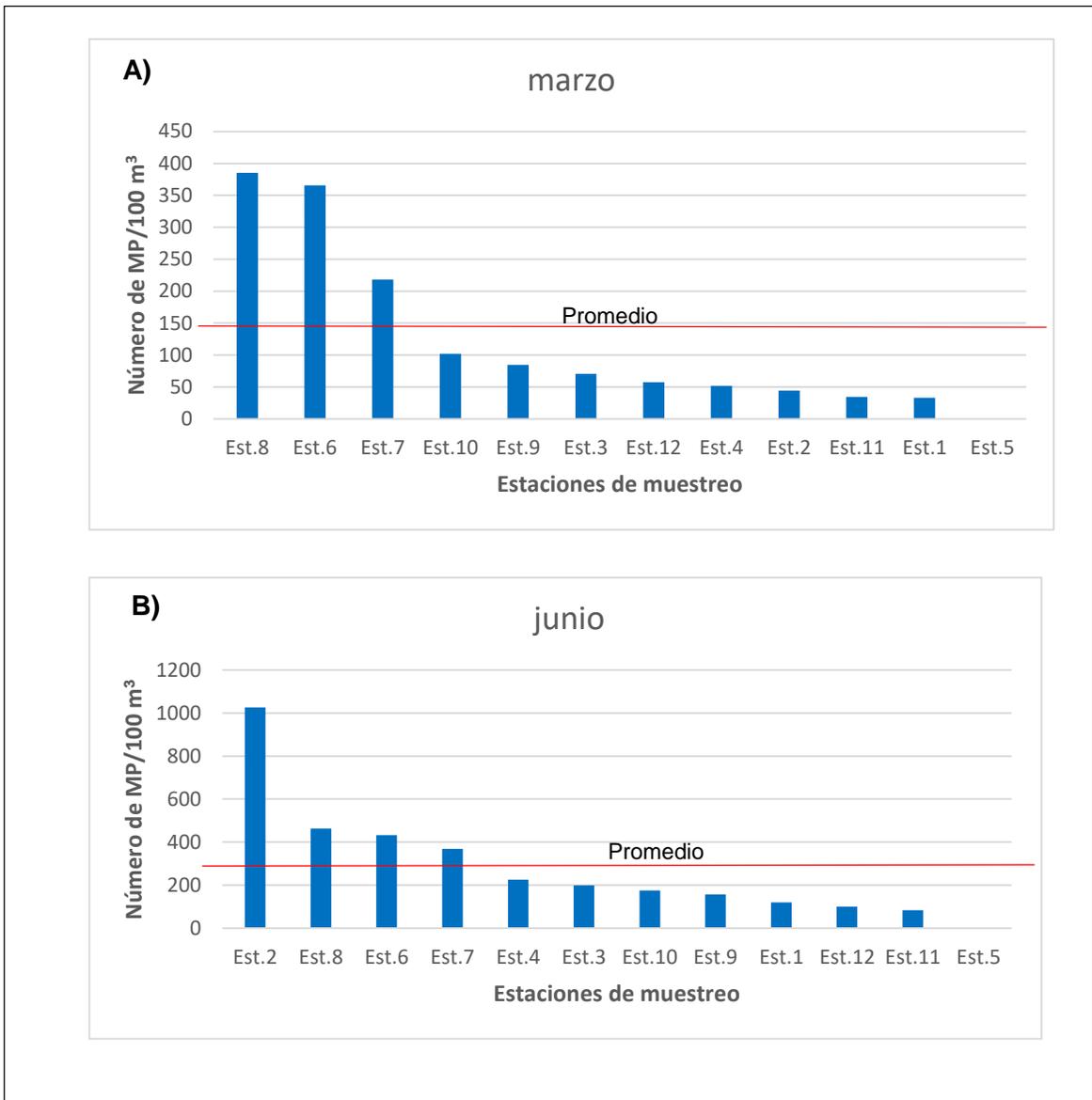


Figura 24. Variaciones temporales de los microplásticos MP, distribuidos en sus 12 estaciones de muestreo, así como sus temporadas A) secas (marzo) y B) inicio de lluvias (junio).

8.13. Clasificación de los microplásticos

De acuerdo con el análisis de las formas más comunes de los microplásticos se observaron fibras, láminas y gránulos (Figura 25) (véase en anexo IV).

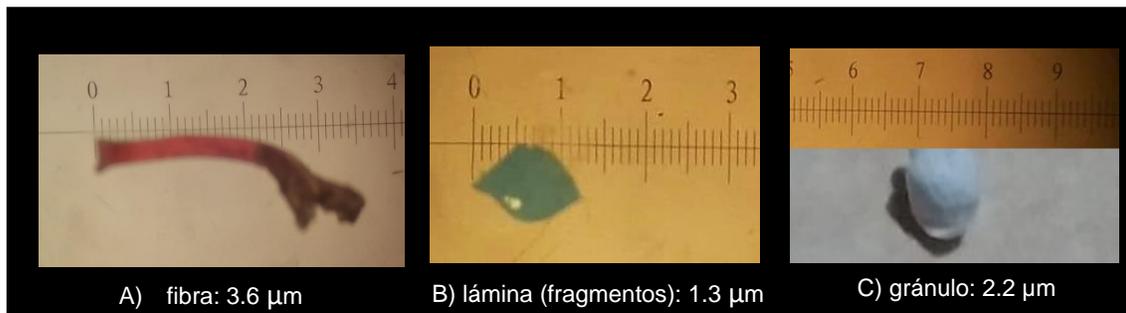


Figura 25. Imágenes de las tres formas de clasificación del microplásticos A) Fibra, B) lámina (fragmentos) y C) gránulos presentes en la laguna Mar Muerto, México.

Para las tres formas del microplásticos el valor mas alto fue de 1 539 fibras MP/100 m³ en la estación 2, el más bajo fue 0 MP/100 m³. Sin embargo, la estación 2 presenta las tres formas del microplástico (Figura 26).

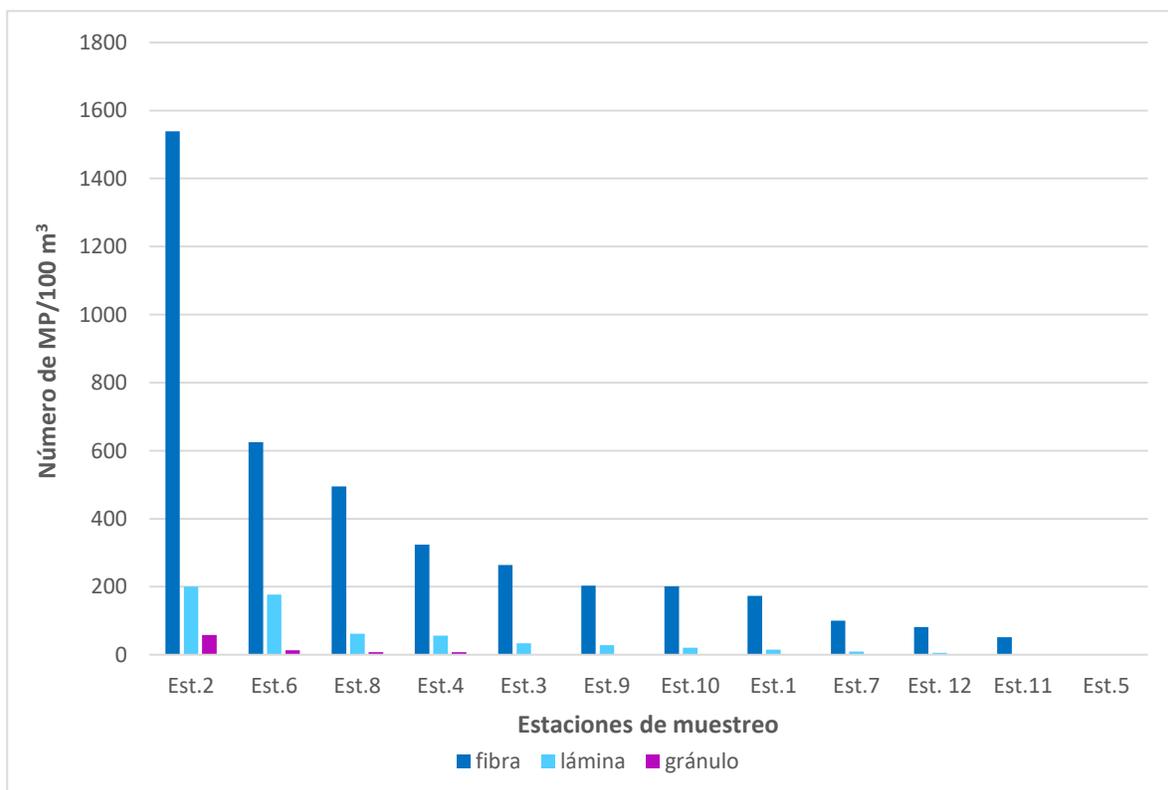


Figura 26. Clasificación del microplástico dentro de las estaciones con sus respectivos valores promedios en sus tres formas (fibra, lámina y gránulo) obtenidos en la laguna Mar Muerto, México.

La mayor frecuencia de aparición la tuvieron las fibras con 22 (51%) la lámina con 15 (35%) y por último gránulo 6 (14%) (Figura 27).

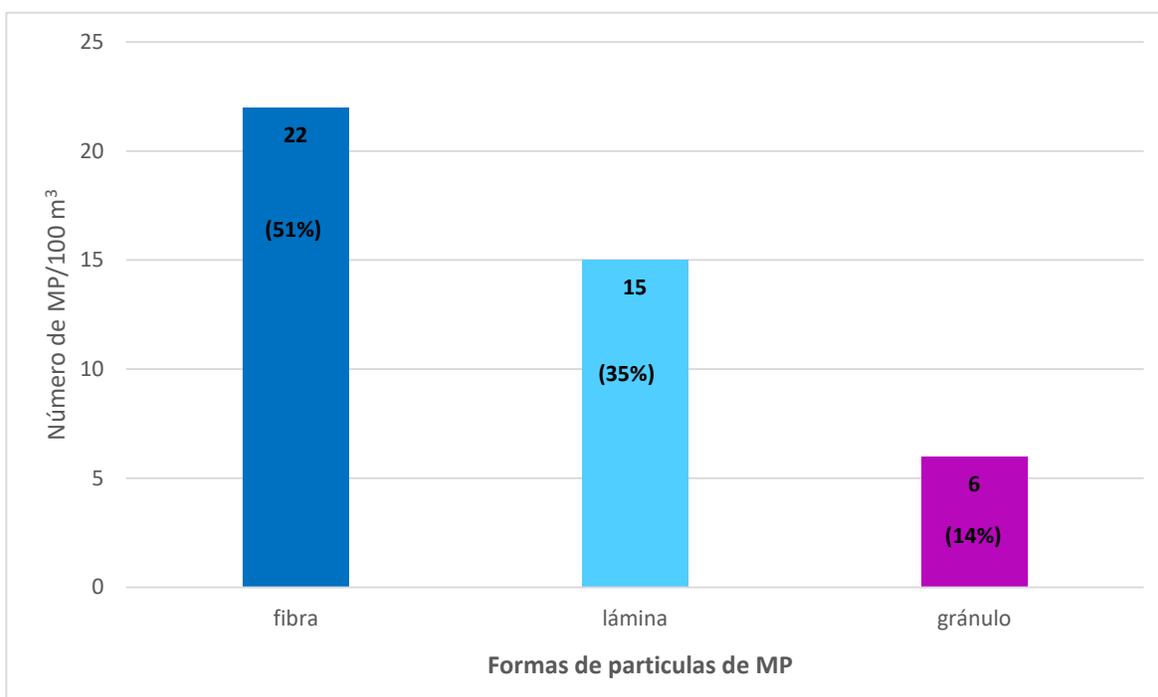


Figura 27. Frecuencia de aparición de las categorías clasificadas de partículas de los microplásticos (Fibra, Lámina y Gránulo) y en porcentajes.

8.14. Clasificación del microplásticos con respecto a los subsistemas hidrológicos

En la temporada de secas, la forma que presenta un valor más alto de abundancia fue fibras con 1 427 MP/100 m³ en subsistema marino y la forma más baja 0 gránulo MP/100 m³ en subsistema eurihalino. Para el valor promedio más alto fue 664 MP/100 m³ en subsistema marino y el valor promedio más bajo fue 148 MP/100 m³ en subsistema eurihalino (Cuadro 7).

Cuadro 7. De los tres subsistemas, se presentan los valores promedio de los microplásticos mediante sus tres formas en temporada de secas (marzo).

Clasificación	Eurihalino	Transición	Marino
fibra	432	1 228	1 427
lámina	12	225	553
gránulo	0	16	13
Suma (abundancia)	444	1469	1 993
Promedio	148	490	664

La temporada en inicio de lluvias, la forma que presentó el valor más alto de 3 519 fibras MP/100 m³ en el subsistema eurihalino y el valor más bajo en forma de granulo con 13 MP/100 m³ en subsistema marino. El valor promedio más alto fue 1 196 MP/100 m³ en subsistema eurihalino y el valor promedio más bajo 315 MP/100 m³ en el subsistema marino (Cuadro 8).

Cuadro 8. De los tres subsistemas, se presentan los valores promedio de los microplásticos mediante sus tres formas en temporada en inicio de lluvias (junio).

Clasificación	Eurihalino	Transición	Marino
fibra	3 519	869	763
lámina	55	200	169
gránulo	15	105	13
Suma (abundancia)	3 589	1 174	945
Promedio	1 196	391	315

8.15 Clasificación de colores de los microplásticos

Se obtuvo un total de 10 colores. El color transparente, tuvo el valor más alto de 1 238 MP/100 m³ en las estaciones (2 y 6) y el amarillo tuvo el valor más bajo en la estación 9 de 13 MP/100m³ (Figura 28).

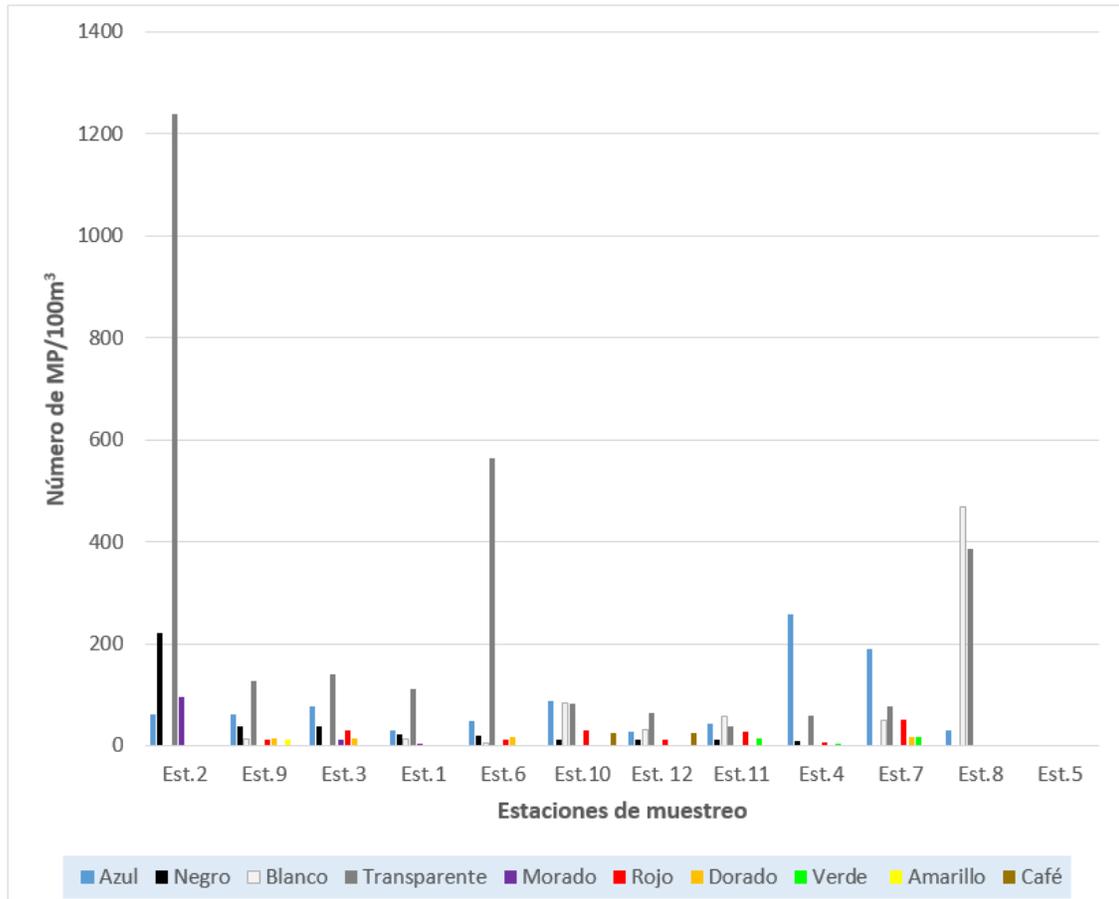


Figura 28. Clasificación de los colores presentes dentro de las 12 estaciones, en la laguna Mar Muerto, México.

En cuanto a la mayor frecuencia de aparición que tuvo los colores de los microplásticos fueron el color azul con 21, el transparente con 20, negro en 12 y el rojo y blanco con 11 (Figura 29).

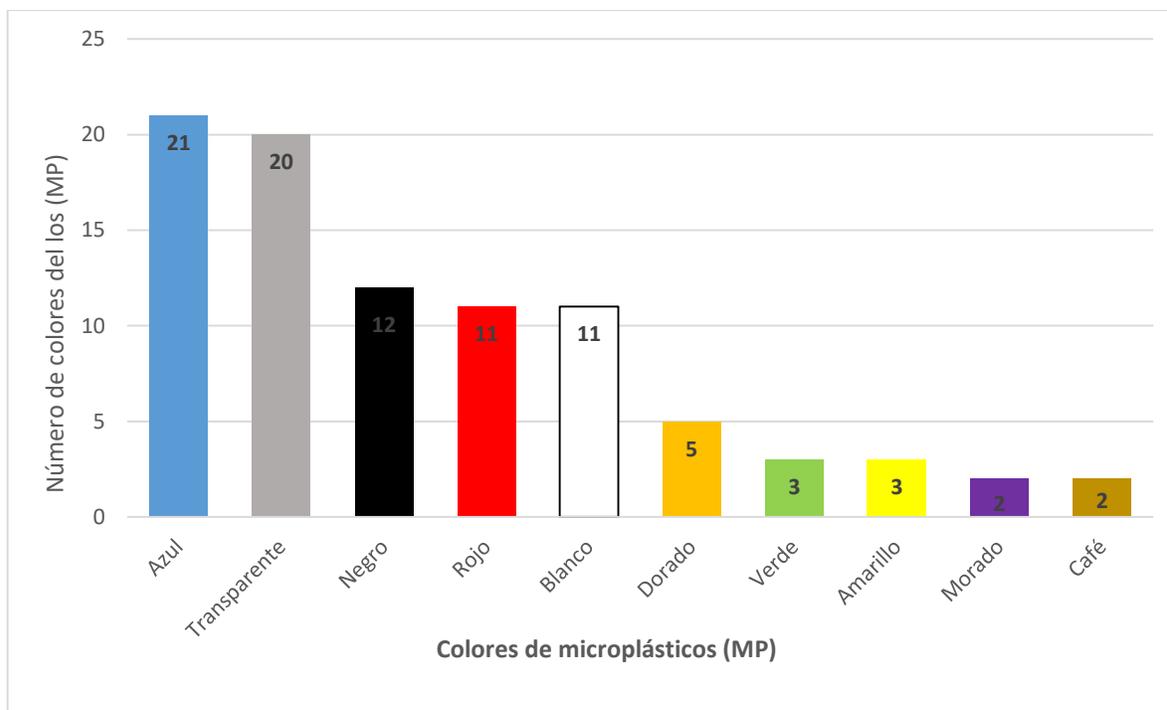


Figura 29. Frecuencia de aparición de los colores obtenidos, en las muestras analizadas con un total de 10 colores.

8.16 Clasificación de los colores del microplástico con respecto a los subsistemas

Por los constantes cambios que presenta la laguna, se determinó el promedio de los 10 colores de microplásticos que fueron obtenidos en las muestras, con base a ello, se clasificaron en los tres subsistemas hidrológicos que fue determinado por Tapia-García *et al.* (2011) (Cuadro 9; Cuadro 10).

Para la temporada de secas, el color más abundante el color transparente con 1 219 MP/100 m³ en subsistema de transición y los valores más bajos fueron para verde, amarillo y café con 0 MP/100m³ que estuvieron ausentes. El valor promedio más alto fue 200 MP/100m³ el subsistema marino y el valor más bajo 44 MP/100m³ el eurihalino.

Cuadro 9. De los tres subsistemas, se presentan los valores promedio de cada uno de los colores presentes de los microplásticos en temporada de secas (marzo).

Clasificación	Eurihalino	Transición	Marino
azul	136	160	314
negro	54	35	24
blanco	7	0	828
transparente	192	1 219	689
morado	11	0	0
rojo	0	23	87
dorado	0	16	14
verde	0	0	14
amarillo	0	0	0
café	0	0	25
Suma (abundancia)	444	1 468	1 995
Promedio	44	147	200

Para la temporada de lluvias, el color transparente tuvo el valor más alto 2 787 MP/100 m³ en subsistema eurihalino y el más bajo verde, ausente en el subsistema eurihalino y marino. El valor promedio más alto fue 359 MP/100 m³ en el subsistema eurihalino y el más bajo 94 MP/100 m³ en el marino (Cuadro 10).

Cuadro 10. De los tres subsistemas, se presentan los valores promedio de cada uno de los colores presentes de los microplásticos en temporada de inicio de lluvias (junio).

Clasificación	Eurihalino	Transición	Marino
azul	145	835	192
negro	511	21	52
blanco	22	55	327
transparente	2 787	185	280
morado	97	0	0
rojo	15	52	55
dorado	15	20	0
verde	0	5	0
amarillo	0	0	13
café	0	0	25
Suma (abundancia)	3 590	1 173	944
Promedio	359	117	94

IV. DISCUSIÓN

9.1. Composición y abundancia zooplanctónica

El análisis de composición del zooplancton indica que existe una gran riqueza y diversidad de especies dentro de la laguna, lo anterior es en parte explicado por ser una de las lagunas más extensas e importantes para el Pacífico sur mexicano, abarcando dos estados: Chiapas y Oaxaca. Los sistemas lagunares-estuarinos representan sistemas de gran relevancia ecológica (Gasca y Castellano 1993). El estudio del zooplancton en estas regiones es un componente que puede proporcionar información valiosa sobre la dinámica de los ecosistemas.

Dentro de la laguna Mar Muerto, se trabajó con cuatro grupos taxonómicos que fueron copépodos, decápodos, quetognatos y peces, obteniendo una estandarización total de abundancia 60 437 org/100 m³ (Figura 6). En el trabajo de Escudero Díaz (1975), registró 68 especies, que fueron divididas en 25 taxa con una abundancia total de 3 477 org/100 m³ en la laguna Mar Muerto. Para Álvarez-Silva, (2006) determinó 12 grupos taxonómicos con una abundancia total de 2 590 org/100 m³ en la laguna Chantuto y Panzacola, Chiapas.

Esto demuestra que la laguna Mar Muerto, obtuvo mayor abundancia de organismos y solo estableciéndose en cuatro grupos del zooplancton, de los dos trabajos de Chiapas, presentaron menor abundancia, pero registraron mayor especies y grupos.

Sin embargo, para los estudios de Guerrero y Oaxaca, algunos son más completos con mayor número de grupos y especies como el caso de Pantaleón-López *et al.*, (2005) reconocieron 26 grupos del zooplancton con una abundancia total de 327 042 org/100 m³, en el complejo lagunar Chacahua-La Pastoría, Oaxaca, México, Mientras que, para López-Serrano y Serrano-Guzmán, (2013) presentó menor abundancia con 2 029 org/100 m³ en solo tres grupos en la laguna el Huave, Oaxaca Para Martínez-Guerrero, (1978) menciona que de las cinco lagunas costeras para el estado de Guerrero presentaron diferencias de abundancia con valores más altos de 3 959 org/100 m³ y el valor más bajo con 103

org/100 m³ obteniendo una gran diversidad de grupos de zooplancton de acuerdo a la temporada de secas e inicio de lluvias

En el presente estudio, aunque el número de grupos analizado fue menor, se obtuvieron mayor diversidad de especies que en otras investigaciones, relevando un estudio más complejo de la dinámica del sistema lagunar, con un total de 18 familias, 18 géneros, 15 especies basado en las especies con respecto a los periodos de muestreos de marzo (época de seca) y junio (inicio de lluvias), determinando la segunda investigación sobre zooplancton en dicha laguna desde hace 49 años.

Entre los grupos, la familia más abundante fue Penaeidae con 16 029 org/100 m³ (Figura 7), debido a que los muestreos se realizaron durante los meses (marzo y junio), cuando sucede la temporada de ingreso y crecimiento en lagunas costeras, como lo describe Ramos-Cruz, (2000) los camarones peneidos, perteneciente al género *Litopenaeus*, divide su ciclo biológico entre ambientes marinos y lagunares. En el primero se lleva a cabo el proceso de reproducción, y en el segundo, la protección y alimentación de las larvas y crías. Por tanto, la dinámica de reclutamiento de larvas de *L. vannamei* en la laguna del Mar Muerto es grande.

Así mismo, como lo menciona Cervantes-Hernández *et al.* (2016) en el Golfo de Tehuantepec, se encuentran los camarones peneidos, con cuatro especies de captura de interés comercial, como *L. vannamei*, *L. stylirostris*, *L. brevisrostris*, *F. californiensis*. No obstante, se posiciona a esta familia como la abundante dentro de la laguna, destacándose en este estudio, a tres especies de las cuatro que se mantienen en la laguna costera. *L. vannamei*, *L. stylirostris* y *F. californiensis* (Cuadro 1). En la literatura se hace referencia a estas especies como fáciles de encontrar en el Mar Muerto (García- Jiménez, 2004). De acuerdo a Mecalco-Hernández, *et al.*, (2018) destacan que, su abundancia entre los meses de septiembre-octubre estuvo dominado por larvas de decápodos.

Entre los copépodos, se identificaron a nueve familias, estando representada la familia Acartiidae, con 9 861 org/100m³, Pontellidae con 5 115

org/100m³ y Subeucalanidae 2 992 org/100m³, siendo una de las familias residentes en la laguna (Figura 7). Álvarez-Silva y Torres-Alvarado, (2013) identificaron a 12 especies de copépodos en la laguna Coyuca, siendo la especie dominante *A. lilljeborgii*. Para las lagunas costeras del norte también son dominantes los grupos de los copépodos, como laguna Navachiste en Sinaloa en donde constituye el 50% de su abundancia total (De Silva-Dávila *et al.*, 2006).

En la laguna Mar Muerto, se observan a ocho especies de copépodos y un género, este grupo aporta más especies en el sistema lagunar. (Cuadro 1), esto determina que son especies que se mantuvieron presentes en las diferentes épocas del año y en casi todas las estaciones. Es un grupo que tolera distintas variaciones ambientales, y por su dominancia los convierte en los principales consumidores primarios e indicadores (Nava- Nava, 1985; Ruíz-Pineda *et al.* 2016).

En relación a Martínez-Guerrero (1978) menciona que, de las cinco lagunas costeras del estado de Guerrero, el grupo dominante fueron los copépodos durante la primavera, verano y otoño, por lo que las lagunas están influenciadas por el tiempo que permanecen comunicadas con el mar. Etilé *et al.*, (2009) señala de los 65 taxones, entre sus grupos más abundantes estuvo Copépoda, con más del 81% en la laguna costera Grand-Lahou, Costa de Marfil.

Esto resalta el hecho que algunas de las especies que se identificaron en este estudio no habían sido mencionadas en otras investigaciones de zooplancton en Chiapas, como el caso de los copépodos *P. wrighti*, *T. discuadata*, *Scolecithricella* sp.

Por otra parte, la familia Sagitiidae alcanzó 7 439 org/100 m³, perteneciendo a la tercera familia más numerosa (Figura 7), logrando identificar a dos especies: *P. euneritica* y *F. enflata* (Cuadro 1). *P. euneritica* solo se había mencionado una vez dentro de las lagunas costeras del Pacífico sur mexicano, siendo Escudero-Díaz (1975), quien la registró dentro de la laguna Mar Muerto. Para Álvarez-Silva *et al.*, (2006) únicamente llegó al género de *Sagitta* sp. Por lo que, en general, no existe mucha información acerca de las especies de quetognatos, en las lagunas

costeras de Chiapas, Oaxaca y Guerrero. Para *F. enflata* se reporta por primera vez en las lagunas costeras del sur de México.

Con respecto a la familia Portunidae, del género *Callinectes*, se reportan 5 203 org/100 m³, en estadios larval (zoea) y (megalopa) en el Pacífico sur mexicano (Figura 7). Así mismo, Llanos-Rivas (1987) determinó que en la laguna Coyuca tuvo mayor abundancia de este género durante los cuatro muestreos, por la dinámica hidrológica del sistema. Se caracterizan por su alta fecundidad y rápido crecimiento, ya que las hembras liberan los huevecillos en las bocas de las lagunas o bien en aguas oceánicas frente a bahías, esteros y lagunas costeras (Arreola-Lizárraga *et al.*, 2003; Sánchez-Ortiz y Gómez-Gutiérrez, 1992).

En el caso de los peces, presentaron seis familias, los huevos de Carangidae con 4 507 org/100 m³ y 340 org/100 m³ en larvas con un total de 4 847 org/100 m³, seguida de huevos de Engraulidae con 815 org/100 m³ y en larvas 248 org/100 m³, con un total de 1 063 org/100 m³ y finalmente huevos de Gerreidae con 29 org/100 m³ y en larvas con 820 org/100 m³. Se obtuvieron buenos resultados de abundancia (Figura 7), (Cuadro 1). Al igual como lo determinó Zarate-Vidal, (1985) las familias más abundantes entre las lagunas de Chacahua-La Pastoría fueron: Engraulidae con *Anchovia macrolepidota* y *Anchoa* sp., con 87.10%, Gobiidae con sp.1, sp.2 y *Gobionellus microdon*, con 11.05%, Bothidae con 5.72% y Gerreidae 3.41%

Mariano-Benítez *et al.* (2023) demostró que las familias más representadas fueron Clupeidae, Engraulidae, Carangidae, Gerreidae, Mugilidae en la laguna Coyuca Guerrero, dado que la laguna presenta una variación estacional. Al igual que Mar Muerto, presentan una variación a lo largo del año, debido a que la boca de la laguna es más ancha lo que provoca un intercambio de agua constante, esto hace que permanezcan especies marinos y costeros (Cervantes-Castro, 1969). Así mismo, Tapia-García *et al.* (1998) mencionan que existe una amplia diversidad de familias como Engraulidae, Carangidae y Gerreidae, en las lagunas costeras del Golfo de Tehuantepec (Romero-Berny *et al.*, 2018). Esto nos da una

perspectiva sobre la gran diversidad de peces que mantiene el Pacífico sur mexicano.

9.2 Variabilidad de la biomasa

Las mayores diferencias en la abundancia de los organismos zooplanctónicos que habitan en un ecosistema se ven reflejadas claramente en la biomasa (Suarez y Gasca, 1996). Entre las 12 estaciones de muestreo en la laguna Mar Muerto, las estaciones con el valor promedio más alto de biomasa fueron: 11, 7, 12 y 9 para ambas temporadas (Figura 8 A y B). Para las estaciones con el valor más bajo de biomasa fueron: 3, 2, 5, 1 en ambas temporadas.

Estas variaciones de biomasa surgen dado que laguna padece intercambios de agua en algunas zonas, como lo muestran Álvarez del Villar y Díaz Pardo (1973) en el cual hace una descripción general, presentando tres áreas someras y dos estrechas, definiendo que en el sureste prevalecen condiciones marinas que no tiene variación por el aporte constante de agua de mar a través de la Boca de Tonalá. Para el área central el intercambio es limitado, lo que provoca una variación estacional.

La biomasa con el valor promedio más alto fue 0.0171 ml/100 m³ en el mes de marzo (secas). Esto fue determinado por la ubicación de las estaciones, ya que algunas se encuentran presentes en la boca de laguna obteniendo mayor biomasa (Figura 8 A) y la biomasa con el valor promedio más bajo fue 0.0151 ml/100 m³ en junio, inicio de lluvias (Figura 8 B). Sin embargo, estos cambios suceden con la temporada de recolecta y por los cambios estacionales que mantiene muy marcada la laguna, y sus intercambios de aguas más constantes.

Álvarez-Silva *et al.*, (2006) destaca que su biomasa sedimentada obtuvo sus valores más altos hacia la boca del sistema oscilando entre 0.001 ml/100 m³ y 0.072 ml/ 100 m³ en el mes de mayo y para junio tuvo sus valores entre 0.004 y 0.00127 ml/100 m³, obteniendo mayor biomasa en la temporada de secas. Para la laguna Mar Muerto, presentó su valor promedio más alto en la misma temporada

y cerca de la boca de laguna, presentando mayor cantidad de biomasa, que los sistemas estuarinos de Chantuto y Panzacola, Chiapas.

Martínez-Guerrero, (1978) registró que, dentro de las cinco lagunas del estado de Guerrero, la laguna que tuvo la biomasa con el valor promedio más alto fue la laguna Mitla en verano 15 ml/100 m³ y el valor promedio más bajo fue 1.47 ml/100 m³ para la laguna el Nuxco en noviembre (Yáñez-Arancibia, 1978). Así mismo, Flores-Vargas y Navarro-Rodríguez (2018), establecen que su biomasa promedio más alta fue 10.31 ml/100 m³ en verano, y en periodo de lluvias presentó un valor más bajo de biomasa con 0.58 ml/100 m³. Esto coincide con la laguna Mar Muerto, ya que de igual forma presentó una disminución de biomasa para junio, inicio de lluvias, alcanzando un valor más alto en marzo en secas.

Así mismo De Silva-Dávila, *et al.* (2006) reportan que en el sistema lagunar de Navachiste, Sinaloa, tuvo valores de biomasa relativamente homogéneos, alcanzando un máximo anual de 4.02 ml/100 m³ en el mes de marzo y para junio ocurrió una disminución, teniendo el promedio más bajo del sistema lagunar con 0.28 ml/100 m³. De igual forma para Mar Muerto, tuvo su valor promedio más alto en marzo. Aunque los valores de biomasa son más altos al noreste que al sur del Pacífico, en todas las lagunas se asemejan que la biomasa es más alta en secas que en lluvias. Por lo que Martínez-Guerrero (1978) establece que las lagunas están influenciadas por el tiempo que permanecen comunicadas con el mar.

9.3. Porcentaje de composición de especies

En secas la especie *A. lilljeborgii*, tuvo el 21.12%, siendo el porcentaje más alto en toda la laguna (Figura 9), presentando mayor constancia ese mes con una buena composición y distribución en el sistema, ya que forma parte de los principales grupos de alimentación para algunas especies en desarrollo. seguida, *L. vannamei*, en 20.89% y *P. euneritica* con 11.98%.

En inicio de lluvias, las especies *F. californiensis* con 18.88%, seguida de *L. vannamei* con 14.15 % (Figura 9 B). mostraron un alto porcentaje, siendo las especies con mayor abundancia, esto determinó que los decapodos fueron más

abundantes en esta temporada, como lo indica García-Jiménez (2004), las postlarvas de los decápodos representan un buen porcentaje en la laguna Mar muerto, teniendo en mayor parte camarones peneidos (*L. vannamei*, *L. stylirostris* y *F. californiensis*). La especie *P. euneritica* con 13.69% ocupó el tercer lugar en el mes de marzo, al igual que el porcentaje total con 11.23%. Los quetognatos son muy comunes en aguas costeras y marinas, siendo depredadores activos en ambiente pelágico, y tienen una fuerte influencia en la composición y abundancia de otros organismos zooplanctónicos (Palma, 2021).

Las especies o familias que presentaron menor porcentaje de abundancia fueron *E. gracilis* y Kyphosidae/H en huevos en marzo con el 0.33%, al igual que en junio, con Haemulidae y *S. exilis* con el 0.33% (Figura 9). Lo anterior es debido a que algunas especies de peces no soportan las fluctuaciones que mantiene la laguna tan pronunciada, o en las temporadas que fueron los muestreos no se encontraban en crecimiento en la laguna.

Para el porcentaje total, fue *L. vannamei* con 18.65% (Figura 10). Esto influye de manera significativa para esta especie, ya que se ubica en la mayoría de las 12 estaciones de muestreo en la laguna, principalmente en el mes de marzo. Esto concuerda con Escudero-Díaz, (1975) demostró que los decápodos presentan altos porcentajes dentro de Mar Muerto, con 22.6 %.

Las especies con bajo porcentaje de abundancia en ambas temporadas fueron *E. acutifrons* y *S. exilis* con 0.33%. Estos organismos solo presentaron lo mínimo en las estaciones cerca de la boca de la laguna; tal vez esto ocurra debido a que algunas especies son más de hábitos marinos. Así como determina Llanos-Rivas, (1987) el porcentaje de las especies depende de las condiciones hidrológicas diferentes del sistema y la zona en la que se ubican las estaciones.

9.4 Dominancia de especies en (IVI)

Para comprender la estructura de las especies y determinar las que se mantienen predominantes dentro de la comunidad, se utilizó el índice de importancia (IVI) modificado, teniendo a *L. vannamei*, seguido de, *A. lilljeborgii*, *P. euneritica*,

Callinectes y los huevos de la familia Carangidae/H, estos *taxa* ofrecen un mejor control sobre la dinámica de la laguna Mar Muerto (Figura 11).

Así mismo, en la laguna Coyuca, Guerrero, hubo mayor dominancia de copépodos, decápodos y peces, obteniendo especies y géneros que son determinados en sistemas lagunares. Sin embargo, también existen especies marinas, debido a la comunicación que mantiene con el mar por cortos periodos de tiempo (Álvarez-Silva y Torres-Alvarado, 2013). Mientras que Cruz-Rosado *et al.* (2020) determinan que las especies dominantes de zooplancton en los sistemas costeros de México son Copépoda, Chaetognatha (Sagittoidea) y Bivalvia.

Es decir, que estas especies presentan mayor abundancia en los sistemas costeros, manteniendo gran aparte en la importancia ecológica del sistema y que dentro de los subsistemas ejercen una gran influencia en la diversidad de especies, al igual que las menos dominantes, *Oncaea* sp. seguida, de la familia Gerreidae, de *E. acutifrons* y *S. exilis*, las que también ofrecen una productividad al sistema, aunque no sean muy abundantes (Figura 11).

9.5 Parámetros comunitarios

El sistema mantiene tres zonas de convergencia, para determinar cómo se distribuyen las especies por estaciones y en qué temporada se diversifican las especies. El índice de Margalef, tuvo el valor más alto con 1.64 en la estación 7 y el más bajo fue 0.94 en la estación 5 (Cuadro 2). esto se puede deber a las distintas estructuras de las lagunas, ya que Mar Muerto posee tres zonas diferentes (Tapia-García *et al.*, 2011).

Temporalmente, el mes de marzo registró la riqueza más alta con 1.92 (Cuadro 3). En relación a lo anterior Mecalco-Hernández y Castillo-Rivera (2020) demostraron que en la laguna La Mancha mostró diferencias entre sus valores ambientales, sus valores más altos fueron de 5.8 entre agosto, diciembre y abril, y los valores más bajos entre mayo a julio, lo que nos dice que la diversidad de las especies en la laguna La Mancha es mayor en comparación con la laguna Mar

Muerto. Aunque las estacionalidades del muestreo en ambos se hicieron en secas y lluvias, pero los meses fueron diferentes.

El índice de Shannon-Weiner (H) mostró su valor más alto de 2.04 en la estación 10, lo que nos dice que la diversidad de especies es compleja en esta zona, cerca de la boca de la laguna. Temporalmente el mes junio presentó el valor más alto, en diversidad de especies con 2.35. Escudero-Díaz, (1975) encontró un valor máximo de 3.81 en índice de Shannon-Weiner (H) en la estación 3 e indicó un gradiente de diversidad en el rango más próximo a la desembocadura de la laguna Mar Muerto; y un valor mínimo de 0.87 en la estación 14. Temporalmente su valor máximo fue 1.37 el mes de mayo.

Cabe mencionar que, para el sistema lagunar Mar Muerto, la equitatividad alcanzó su valor más alto de 0.86 en la estación 1 y el valor más bajo 0.50 en la estación 4. Temporalmente, el mes de junio tuvo mayor distribución de las especies, en comparación con marzo, con 0.75, lo cual indica que las especies no mantienen un número constantes de organismos por temporadas. Rivera-Acuña, (2013) determinó que en todas sus estaciones observaron valores bajos con 0.35, lo que indica que las especies no son iguales de abundantes.

En relación al índice de Simpson, temporalmente registraron valores similares para ambas temporadas lo que sugiere que la dominancia entre grupos no fueron diferentes (Cuadro 3).

9.6 Subsistemas hidrológicos

Durante el mes de marzo en secas se observaron los valores promedio más altos de abundancia, riqueza y biomasa en el subsistema marino; en tanto, los valores más bajo se presentaron en el subsistema eurihalino (Cuadro 4). Landry 1976; Turner 1982 y Gasca y Suárez-Morales, 1996, determinan que las diferencias en la biomasa y abundancia de las lagunas costeras pueden deberse a cambios estacionales o periodos climáticos, ya que es común que en latitudes con estacionalidad marcada presenten aumento significativo en primavera.

En cuanto a los parámetros, en temperatura, pH y oxígeno disuelto tuvieron sus valores más alto en el subsistema marino. Mientras que en salinidad se presentaron en el subsistema eurihalino (Cuadro 4). Para Tapia-García *et al.*, (2011) indica que la laguna Mar Muerto en época de sequía la temperatura es mayor por los vientos Tehuantepecanos (marzo–mayo), van disminuyendo hacia el subsistema marino. En salinidad, las variaciones son de 13 a 90 aunque aumenta en temporada de sequía en el subsistema eurihalino.

El resultado en temperatura fue por la diferencia de un grado, ya que el subsistema eurihalino tuvo el valor promedio más bajo con 30.11 °C en secas, a diferencia del subsistema marino con 31.11 °C. Aunque en salinidad concuerda con Tapia-García *et al.*, (2011), debido a que las variaciones que se obtuvo en salinidad, el valor promedio más alto fue 40.57 en subsistema eurihalino y el valor promedio más bajo fue 37.45 en subsistema marino.

Mientras que el mes de junio, sí demostró variabilidad en los promedios de los tres subsistemas, dado que el valor promedio más altos de abundancia estuvo presente en el subsistema marino, y los valores más bajos en el subsistema eurihalino (Cuadro 5). Para la riqueza y la biomasa tuvieron su valor promedio más alto en el subsistema de transición y los valores promedio más bajos en el subsistema eurihalino. Esto surge por los movimientos de corrientes que son causados por las mareas, que ocasionan la entrada y salida de agua de la laguna lo hace que la riqueza y la biomasa sean diferentes en los tres subsistemas (Cervantes-Castro, 1969).

Los parámetros de temperatura y pH, presentaron el valor más alto en el subsistema eurihalino, y los valores más bajos en el subsistema marino. En la época de lluvias, la temperatura tiende a hacer homogénea en toda la laguna, el valor de la temperatura disminuye por alta nubosidad que reduce la radiación solar y en salinidad es inverso para la época de sequía de (Tapia-García *et al.*, 2011). Por ello se refleja en los resultados que la temperatura fue homogénea en solo dos subsistemas eurihalino y transición, mientras que en subsistema marino fue mucho más bajo con un promedio 24.50° C.

En cuanto a la salinidad, se obtuvo el valor promedio más alto con 42.20 en el subsistema marino, al igual que el oxígeno disuelto con 10.57. Para Álvarez-Silva *et al.*, 2006 menciona que las lagunas de Chantuto-Panzacola, Chiapas en época de lluvias disminuye la salinidad hacia condiciones oligohalinas con 13.6 ups, dando un giro ya que la influencia de la laguna costera con el mar mantiene mayor salinidad al igual que Mar Muerto.

9.7. Distribución espacial con el ambiente

En cuanto a la escala-espacio temporal, en marzo (secas) presentaron valores promedio más altos en abundancia, biomasa y riqueza y en casi todos los parámetros fisicoquímicos registrados en el subsistema marino, debido a que la laguna mantiene una distribución diferente en la composición de la laguna por su forma alargada paralela que mantiene en el sureste a noroeste y su entrada estrecha teniendo 1 600 m de ancho (Cervantes-Castro, 1969).

Esto determina su comportamiento en el sistema por ello, Tapia-García *et al.* (2011), dividió en tres subsistemas la laguna Mar Muerto, lo cual se da por el constante intercambio de agua y por los vientos Tehuantepecanos, aunque van disminuyendo de enero a marzo. Esto mantiene a la boca de laguna con mayor circulación de agua dando un valor promedio más alto de diversidad y abundancia de especies (Figura 13). Esto hace que los parámetros fisicoquímicos sean diferentes en las temporadas de secas e inicio de lluvias, manteniéndose la temperatura, el pH, el oxígeno disuelto en el subsistema marino, aunque en salinidad tuvo sus valores promedio más altos en el subsistema eurihalino.

Con respecto a Esteves *et al.* (2008), sugieren que las regiones costeras y estuarinas exportan mayor producción a las áreas oceánicas por los transcurso hidrológicos como las corrientes de mareas. Dando como resultado que la riqueza estuvo presente el subsistema marino y transición con 19 *taxa*. Desde esta perspectiva como lo determinó Escudero-Díaz, (1975) la abundancia, riqueza y biomasa están determinadas por la región de la boca hacia el interior de la laguna

demostrando, que este sistema va de mayor a menor complejidad, manteniendo mayor estabilidad en el subsistema marino.

Sin embargo, las especies que estuvieron con mayor abundancia son *A. lilljeborgii*, *L. vannamei* y *F. euneritica*. Estas especies soportan mayor salinidad y temperatura; al igual como lo define Escamilla *et al.* (2011), la especie *A. lilljeborgii* en marzo es más abundante, cuando el agua de mar fluye durante la marea alta. Tenido mayor influencia del océano, se vuelve más fuerte hacia las zonas cercanas a la costa en donde se transforma a la estructura de la comunidad de copépodos (Figura 13).

En junio, los valores promedios más altos de abundancia y riqueza se mantuvieron en el subsistema marino, al igual que en secas (Figura 14). Los parámetros fisicoquímicos demostraron valores promedios altos en temperatura, salinidad, pH, oxígeno disuelto en el subsistema eurihalino. De igual forma, Pantaleón-López *et al.*, (2005) mencionan que los máximos valores de abundancia se observaron durante el periodo de sequía, ya que las lagunas Chacahua y Pastoría al igual mantienen intercomunicación con el mar.

Las especies con mayor abundancia fueron: *F. californiensis*, *L. vannamei*, y la familia Carangidae/H en (huevos). Aunque algunas familias y especies de peces se mantienen mayormente en esta temporada, ya que algunos se sustentan como indicadores en los sistemas costeros (Xu *et al.*, 2011; Pérez-Domínguez *et al.*, 2012). Yáñez-Arancibia (1978) describe que las lagunas costeras del Pacífico mexicano mantienen una dinámica que reflejan el 14% de peces dulceacuícolas, 6% de peces marinos y propiamente estuarinos utilizan el estuario como área de crianza 28%.

9.8 Relación de los subsistemas hidrológicos con el zooplancton

Algunas de las especies que se encontraron dentro de la laguna poseen una funcionalidad tanto de importancia ecológica como comercial; esto nos da una idea sobre lo que acontece con el zooplancton en la laguna, dando a entender que forman parte de la cadena alimenticia, siendo parte del alimento para la crianza de

especies y conocer en qué subsistemas contiene mayor abundancia y diversidad de las especies. Por ello, a continuación, se presenta los cuatro grupos cómo interactúan dentro de la laguna, incluyendo los parámetros fisicoquímicos.

9.8.1 Copépodos

Son los organismos más abundantes en los ambientes costeros, por lo cual ocupan una posición primaria, representando el 60 y 80 por ciento de la biomasa de la comunidad del zooplancton, ya que son los responsables en la parte de transferencia de energía del fitoplancton hacia niveles tróficos superiores (Kozak *et al.*, 2014). Por estas razones, se dio a conocer que la laguna Mar Muerto presentó a ocho especies y un género, siendo el grupo más rico en cuanto a especies.

Esto determina que *A. lilljeborgii*, *L. acuta*, *T. discuadata* y *C. furcatus* y género *Subeucalanus* fueron registrados con valores más altos en toda la laguna (Figura 15, Figura 16), demostrando en cada mapa su distribución, con un dominio en el subsistema de transición y marino. Aunque, para *P. wrighti*, *Scolecithricella sp.* y *E. acutifrons* y *Oncaea sp.*, obtuvieron valores bajos en el subsistema eurihalino (véase en anexo I). Es relevante la capacidad de los copépodos para adaptarse a diversos tipos de ambientes, ya que se mantienen en un gran intervalo de temperatura (Palomares *et al.*, 1998), como se presentó en los meses de marzo y junio determinando las condiciones idóneas para la supervivencia del zooplancton.

Para la familia Centropagidae, se caracteriza por hábitats costeros donde son comunes, dado que prefieren mantener factores de temperatura y salinidad en mayor concentración (Björnberg, 1981). En marzo la salinidad tuvo su valor promedio más alto de 40.57 en el subsistema eurihalino y en junio su valor promedio más alto fue 42.20 en el subsistema marino (Cuadro 4; Cuadro 5) (véase en anexo I). Tapia-García *et al.* (2011) mencionan que las variaciones de salinidad son muy grandes (desde 13 a 90), con los valores más bajos en la época de lluvia y los más altos en sequía-vientos Tehuantepecanos. Es decir, que la laguna no se

caracterizó igual en las temporadas de secas e inicio de lluvias, ya que los resultados fueron inversos a Tapia-García *et al.* (2011).

Álvarez-Silva y Torres-Alvarado, (2013) indican que la especie *Centropages furcatus* tuvo valores mínimos en el mes de julio. Esto confirmó que en su mayoría procede del medio nerítico adyacente, ya que algunos de ellos no son propios de los sistemas estuarios sino introducidos al sistema mediante el flujo de mareas. Al igual que en Mar Muerto, su valor promedio más alto fue 378 org/100 m³ en subsistema marino, cerca de la boca de laguna.

Álvarez-Silva *et al.* (2003) reportan que la especie *L. acuta* se encontraba en lugares donde la temperatura oscila entre 18.5 y 32°C y la salinidad entre 33.1 y 36.4, demostrando que es una especie que se muestra como euriterma y eurihalina, caracterizándose al igual que en la laguna, prestándose en el mes de marzo, donde se mantiene esas características, para la especie, obteniendo el valor promedio más alto con 471 org/100 m³ en el subsistema eurihalino (Figura 16). Esto contribuye a comprender la dinámica que mantiene el sistema lagunar con este grupo del zooplancton.

9.8.2 Decápodos

Las tres especies y el género identificados son de importancia pesquera, destacándose al camarón, ya que es la tercera especie en producción pesquera en México. Sin embargo, por su valor se ubica en el lugar número uno, de acuerdo con la Comisión Nacional de Pesca y Acuicultura (CONAPESCA, 2021). La especie, *L. vannamei* sobresale con el valor promedio más alto de 2 084 org/100 m³ en el subsistema marino y el valor más bajo de 471 org/100 m³ en el subsistema eurihalino (Figura 17).

L. stylirostris presentó su valor promedio más alto de 167 org/100 m³ en subsistema marino, y el valor promedio más bajo 7 org/100 m³ en subsistema eurihalino. La especie, *F. californiensis* sólo se presentó en el subsistema marino (véase en anexo I), por lo cual es evidente siendo una especie que posee más vida marina (Ocampo-Victoria, 1994).

La ubicación de los decápodos en los distintos ambientes marinos surge, naturalmente, de las características de las especies, grado de desarrollo y adaptación a los mismos, comportamiento en relación con la nutrición, reproducción, desplazamiento y relación con el sustrato (Boschi,1981). Debido a que las especies de camarones mantienen una función ecológica importante, siendo consumidores de materia orgánica proporcionada por un rico sustrato en vegetación acuática y manglares (Hendrickx 1995; citado en Gonzabay-Cabrera, 2008).

Por ello, en ambas temporadas se mantuvo con mayor abundancia a este grupo, ya que este orden se mantiene en temporada de marzo y junio, por el gran porcentaje de alimentación que posee la laguna, como el caso de los copépodos. García-Jiménez (2004) establece que las larvas de los camarones peneidos (*L. vannamei*, *L. stylirostris* y *F. californiensis*), mantuvieron como abundantes en el Golfo de Tehuantepec.

Callinectes tuvo su valor más alto de 579 org/100 m³ en el subsistema transición; el valor más bajo fue 45 org/100 m³ en el subsistema eurihalino (Figura 18). Esto nos idea de la abundancia puesto que algunos de los muestreos fueron cerca de la boca de la laguna. Más que algunas especies de camarones, el género *Callinectes* es de gran importancia económica y ecológica, al igual como lo establece Llanos-Rivas, (1987) observó que el género *Callinectes* tuvo grandes abundancias entre la zona de abertura de la barra entre la temporada de otoño, que en verano cerca de la boca de la laguna.

Aunque frecuentemente las larvas son desplazadas con las corrientes marinas dentro del sistema lagunar, implicando deriva larval que comprende el recorrido de grandes espacios marinos, que aleja la zona de desove de la zona de reclutamiento y crecimiento (Boschi y Scelzo, 1969). Para Boltovskoy (1981), las larvas zoeas se alejan de las zonas estuarinas y permanecen de 30 a 45 días en la ribera adyacente hasta su metamorfosis al estadio megalopa, que tiene capacidad de migración vertical diaria; por la noche están en la superficie y de día se sumergen.

Ramos-Cruz (2008) y Espinosa-Romero *et al.* (2014) establecen que la captura de jaiba ocurre todo el año en los sistemas lagunares de la región sureste, dado que no existe ningún esquema restrictivo tipo biológico o pesquero que regule su explotación, puesto que el sistema lagunar se tiene a tres especies de jaibas; *C. arcuatus*, *C. toxotes* y *C. bellicosus*.

Algunas de las especies de importancia pesquera como el caso de (camarón y jaiba) poseen una veda de explotación en diferentes etapas de reproducción y crecimiento, dentro y fuera de las lagunas costeras, aunque no van acuerdo a su temporada (Cervantes-Hernández *et al.*, 2008). Esto indica que, se necesita establecer una veda que sea apta para la supervivencia de las especies del Pacífico sur mexicano, manteniendo un equilibrio en sus temporadas. Al igual Ramos-Cruz, *et al.* (2006) y Cervantes-Hernández *et al.* (2008), proponen otras fechas de junio/julio a octubre, para asegurar la protección de los reproductores y el crecimiento de los reclutas de las especies.

9.8.3 Quetognatos

Se encuentran distribuidos en los océanos de costa a costa, mantienen su mayor abundancia en la zona epipelágica en el estrato de los 0-200 m (Pierrot-Bults y Nair, 1991). En el sistema se obtuvo mayormente a la especie *P. euneritica*, con el valor promedio más alto fue 1 448 org/100 m³ en el subsistema de transición y el valor promedio más bajo fue 112 org/100 m³ en el subsistema marino (Figura 19).

Es evidente que, este grupo se destaca por poseer una parte fundamental de abundancia y dominancia; al igual que *F. enflata* su mayor influencia fueron en el subsistema eurihalino con 68 org/100 m³ y el valor promedio más bajo 44 org/100 m³ en el subsistema transición. Mientras que Escudero-Díaz, (1975) menciona que los quetognatos contribuyeron con un porcentaje relativamente alto en los muestreos cercanos a la boca de Mar Muerto, en cambio para Álvarez-Silva *et al.*, (2006), solo presentó un género del phylum Chaetognatha con un promedio

de 0.027 org/ 100 m³, siendo menor para los sistemas lagunares de Chantuto y Panzacola, Chiapas; por ende, se tuvo un valor más alto en este estudio.

La laguna mantuvo sus condiciones idóneas para este grupo, para la temperatura tuvo 31.19°C en el subsistema eurihalino y la salinidad con valores 34.75 en la temporada de inicio de lluvias (Cuadro 5), esto infiere a que este grupo soportan muy poca tolerancia con la baja salinidad y permanencia de altas temperaturas (Pierce, 1951, citado en Tuozzo-Izaguirre, 2018).

Tapia-García *et al.* (2011) destacan que la hiperhalinidad se mantiene hacia la parte interna de la laguna, en los subsistema eurihalino y transición en las épocas de lluvias, por lo que este grupo se presentó más en las temporadas de junio inicio de lluvias, teniendo menos salinidad en esa temporada, ya que la laguna se caracteriza por mantener muy marcadas sus temporadas de secas y lluvias, dado que este grupo se alimentan fundamentalmente de copépodos, aunque opta por otras presas como larvas de peces y pequeños quetognatos (Pierrot-Bults, 1990, citado en Gasca y Suárez-Morales, 1996).

9.8.4 Peces

Este grupo se clasificó en familias y especies, por lo que en huevos se llegó a familias y las larvas en especies; de esta manera se dio a conocer un panorama más amplio en su localización dentro de las 12 estaciones de la laguna, ya que son uno de los principales recursos en pesquería en el sistema lagunar.

Para *E. gracilis* se obtuvo su valor promedio más alto de 146 org/100 m³ en el subsistema eurihalino; el valor promedio más bajo fue 37 org/100 m³ en el subsistema marino (Figura 20), obteniendo diferencias en los subsistemas. No obstante, en la laguna La Pastoría, se reportó que dentro las familias más abundantes de peces fueron: Engraulidae, Bothidae, Gobiidae, Carangidae y Gerreidae, presentándose durante casi todas las estaciones (Zarate-Vidal, 1985).

Sin embargo, la familia Carangidae/H en huevos, su valor promedio más alto fue de 765 org/100 m³ en subsistema de transición, en donde surge el

intercambio de agua entre transición y marino, ya que el tiempo de incubación depende fuertemente de la temperatura y de otros factores (Hunter, 1981, citado en Gasca y Suarez, 1996; Richards y Vázquez-Yeomans, 1996), y el valor más bajo fue 154 org/100 m³ en el subsistema eurihalino (Figura 21). Ambos se encontraron en distintos subsistemas, aunque tuvieron similitud con el valor promedio más bajo en el subsistema eurihalino.

De hecho, para *A. lucida*, *Oligoplites sp.*, *S. exilis*, y a las cuatro familias: Engraulidae/H en (huevos), Gerreidae, Haemulidae y Kyposidae/H en (huevos) obtuvieron mayormente en inicio de lluvias, con valores promedios más bajos (véase en anexo I), para las condiciones de temperatura, salinidad, pH, y oxígeno disuelto fueron variables en ambas temporadas, determinándose en diferentes subsistemas (Cuadro 4, Cuadro 5). López-Serrano y Serrano-Guzmán, (2013) indica que en la laguna inferior el Huave, Oaxaca, en su temporada de seca tuvo una abundancia reducida de huevos de peces y en lluvias no se presentó huevos de peces, debido a las diferentes condiciones que mantiene la laguna como un estuario en verano y en lluvias antiestuario, esto hace que los valores de salinidad y temperaturas varían.

Aunque el cambio de algunos parámetros fisicoquímicos, fueron mayormente en secas. Las características propias que contiene la laguna Mar Muerto dan a entender que contiene una gran diversidad de especies, dado que, algunas larvas pueden desarrollarse en el sistema, y otras no forman parte de la fauna residente; en su etapa adulta, es común que los peces emigren hacia aguas marinas para después volver a desovar en las aguas costeras (Gasca y Suarez-Morales, 1996). Demostrando que el Golfo de Tehuantepec es una región pesquera y altamente productiva y sostenible con importantes procesos físicos y ecológicos (Tapia-García, 1998 y Núñez-Orozco *et al.*, 2013).

Yáñez-Arancibia, (1977) y Martínez-Guerrero, (1978) determinaron que, en las lagunas costeras del Pacífico sur, se encuentra una gran diversidad de familias de peces: Carangidae, Scianidae, Gobiidae, Gerreidae, Urolophidae, Engraulidae, Poecilidae y Pomadasyidae, siendo las más representadas. Esto se debe a la

dinámica ecológica que presenta las lagunas costeras a través de sus temporalidades. Esto hace que los peces tengan condiciones idóneas para su reproducción, crianza y refugio, manteniendo estabilidad en el sistema.

9.9. Análisis de ANOSIM y SIMPER dentro de los subsistemas

Para el ANOSIM, se estableció que dentro de los tres subsistemas que presenta la laguna, existen diferencias significativas. Esto se debe a la abundancia que tuvo la laguna en las temporadas de muestreo, debido a los cambios de temporalidad; esto mantiene variabilidad en los parámetros fisicoquímicos y ecológicos que presenta. Esto produce que los subsistemas sean diferentes entre el subsistema eurihalino y marino; por tanto, se encontró mayor abundancia en el subsistema marino (Figura 22).

Es evidente que, la caracterización que posee cada subsistema depende de la temporada que se realizaron los muestreos (marzo-junio), por lo cual se obtuvieron diferencias significativas dentro de la laguna (Figura 22). Mientras tanto, Hernández-Estrada (2023) determina que el ANOSIM presentó diferencias significativas entre la comparación en los ensamblajes por subsistemas en la laguna Mar Muerto, encontrando dos grupos diferenciados entre el subsistema eurihalino y marino.

Villalba *et al.*, (2017) destacaron que la abundancia zooplanctónica de la laguna El Morro, en la Isla de Margarita, Venezuela, el ANOSIM aplicado entre abundancia y las zonas de estudio (externas e internas), no arrojó diferencia significativa (R global de 0.053). Mientras que laguna Mar Muerto sí presenta diferencias significativas en los subsistemas (eurihalino y marino), aunque mantienen relación con la laguna el Morro por las zonas externas e internas, siendo similar a los subsistemas. Marino-Benítez *et al.*, (2023) sustenta que la abundancia temporal presenta diferencias significativas por los meses y los comportamientos que padecen lagunas costeras. Esto hace que la dinámica climática también dependa de la región donde se ubican.

En cuanto a la disimilitud (SIMPER), de los subsistemas con respecto a las especies corresponde el 70%, dentro de la matriz de datos. De acuerdo con los subsistemas eurihalino y transición se obtiene una contribución de 20.84% de género *Callinectes*, con una disimilitud de 14.85, eurihalino y marino a la especie *L. vannamei* con 26.34% de contribución, y disimilitud de 22.72% y, por último, transición y marino, con *L. vannamei*, con el 18.54% de contribución y el 14.22 de disimilitud (Cuadro 6).

A pesar, que también se representan *A. lilljeborgii*, *P. euneritica*, *L. acuta*, con menor contribución, son especies muy características de los subsistemas. Cabe mencionar, que se figuró de esta forma, para conocer más que especies ocupan en relación con los subsistemas, en ambas temporadas (marzo- junio), a pesar de las diferencias que presentan los subsistemas en la prueba de ANOSIM.

Posteriormente, en el subsistema eurihalino, presentó a la familia Carangidae/H, con 11. 27% de contribución, reflejando que los huevos y larvas de peces también posee una disimilitud entre los subsistemas. Cabe mencionar que Hernández-Estrada (2023), encontró a cinco especies que le aportaron más del 60%, como *Diapterus peruvianus* y *Gerres simillimus*, siendo las especies más representativas en meses de abundancia. Aunque de igual manera se hicieron los mismos muestreos en marzo-junio del 2021, no se encontró relación con alguna especie de peces, pero sí con la familia Carangidae.

9.10. Distribución del microplástico

Los microplásticos (MP) presentes en el sistema lagunar Mar Muerto, tuvieron una abundancia estandarizada de 9 614 MP/100 m³ de las 12 estaciones de muestreo, lo que indica que la abundancia es muy alta, evidenciando que las degradaciones de los plásticos están presentes dentro del sistema, para transformarse en partículas diminutas de contaminación. Para Garcés-Ordóñez, (2022) determinó la abundancia de 6 800 MP/100 m³ en el agua, dentro de los manglares del área protegida de Cispatá, Caribe colombiano.

Para Mongalo *et al.*, (2024) registró diferentes tipos de microplásticos y una goma de un peso considerable en el cual presentó una distribución significativa dentro de la laguna de Bluefields, Nicaragua. Sánchez-Ramírez (2018), menciona que la cantidad de microplásticos ha aumentado significativamente en las zonas costeras y en el océano (Figura 23). Cabe mencionar que los datos se estandarizaron a 100 m³ para poder comparar los resultados.

En comparación con Celis-Hernandez *et al.*, (2021) determinó la abundancia de 36 MP/100 m³ en el agua, en la Laguna Términos en el Golfo de México. Mientras que, el Estuario de Goiana, Brasil tuvo una abundancia más de 47 000 MP/100 m³ (Deng *et al.*, 2021 y Garcés-Ordóñez, 2022). Estos valores presentados determinan la variabilidad de la presencia de microplástico en los sistemas, de manera que laguna Mar Muerto mostró una abundancia más alta y mantiene valores más altos de 0 a 809 MP/100 m³ (Figura 23). Esto demuestra que, la hipótesis planteada al inicio del estudio ha sido descartada, ya que se constató la presencia de una cantidad más elevada de microplásticos en comparación con otras lagunas costeras.

Las estaciones con el valor promedio más alto de abundancia de microplástico fueron las estaciones 6 y 8, y la de valor más bajo fueron 2 y 5. En la estación 5, no hubo microplástico debido a que la zona se encuentra aislada de la laguna (Figura 23). Las estaciones donde hay más microplásticos son en general muy someras, y quizás esta asociado a que existe menor desplazamiento del movimiento del agua y las partículas de menor tamaño llamados (MP) son agregados de mayor cantidad.

Esto puede ser un factor importante ya que como lo establece Álvarez del Villar y Díaz Pardo (1973) el 49.5% de la superficie de la laguna Mar Muerto posee profundidades menores de 1 m y sólo el 2.3% alcanza más de 5 m, determinando mayor acumulación de microplástico en la laguna. La acumulación de microplásticos en hábitats bentónicos y pelágicos, puede alterar los ciclos biogeoquímicos como resultado de la alteración de la penetración de la luz a lo

largo de la columna de agua y modificación de las características fisicoquímicas de los sedimentos (Guzzetti *et al.*, 2018; Filgueiras *et al.*, 2020).

9.11. Variaciones temporales del microplástico

En la temporada de sequía (marzo), se registró una disminución de microplásticos con un valor promedio de 121 MP/100 m³. En esta temporada, la estación 8 mostró el valor más alto de 385 MP/100 m³, a diferencia de la estación 5 donde no hubo microplásticos (Figura 24 A). El sistema en esta temporada se caracterizó por una disminución de agua, como ha sido registrado previamente (Tapia-García *et al.*, 2011), y en alguna (como la estación 5) existe poco movimiento de agua por corrientes lo que explica porque en esta estación no se encontró ninguna partícula de microplástico.

En junio, mostró el valor promedio fue 279 MP/100 m³, en la estación 2 con el valor más alto de 1026 MP/100 m³ y la estación 5 el valor más bajo de 0 MP/100 m³ en la estación 5. Esto indica que existe mayor presencia de microplásticos en esta temporada, demostrando una variación temporal (Figura 24 B). Tapia-García *et al.* (2011), establecen que, en lluvias, la laguna mantiene escurrimientos fluviales intensos. Esto que provoca que los plásticos mantengan tensiones mecánicas, como desgaste, tracción, compresión, e incluso impacto, y conlleva a mayor abundancia de microplásticos, por lo que los ríos pasan por zonas aledañas siendo más fácil la aparición de microplásticos formándose en fragmentos cuando llegan los sistemas acuáticos (Cooper y Corcoran, 2010; Gewert *et al.*, 2015; Olmos-Espinar, 2021).

Su composición de los plásticos con aditivos durante la fabricación les proporciona propiedades en ser ligeros, durables y resistentes, lo que les permite absorber eficientemente compuestos contaminantes persistentes, bioacumulativos y tóxicos (PBT) del medio ambiente, siendo de bajo costo en su producción (Phuong *et al.*, 2016; Sánchez-Ramírez, 2018). Lo que hace que terminen en zonas costeras.

9.12. Clasificación de los microplásticos

La forma que se registró en las 12 estaciones fue fibras. Mostró el valor más alto de 1 539 fibras MP/100 m³ en la estación 2 y estando ausentes en la estación 5. En las estaciones 2, 6, 8, 4 predominaron las tres formas del microplástico (fibra, lámina y gránulo) (Figura 25, Figura 26). Las fibras tienden a desprenderse de la ropa, tapizados o alfombras o artes de pesca, donde se asocian con materias primas industriales, por lo que se mantienen como MP con abundancia en la naturaleza, siendo los más comunes en las muestras (Rochman, *et al.*, 2019). (Véase en anexo III).

Con respecto a tres formas de los microplásticos presentes en la laguna Mar Muerto, se considera que los MP, se dividen en primarios y secundarios. Los microplásticos primarios mantienen pellets de reproducción o gránulos de plásticos con tamaños microscópicos (Wright *et al.*, 2013). En los microplásticos secundarios se encuentran fragmentos o fibras plásticas de tamaño derivados de la descomposición de los desechos de los plásticos más grandes (Horton *et al.*, 2017). Conocer estos aspectos sobre las formas que posee los MP nos brinda una mejor información acerca de que plásticos están presentes en el ecosistema, por lo que existe una creciente preocupación por la posible transferencia trófica de MP en redes alimentarias acuáticas, bentónicas y pelágicas (Lusher *et al.*, 2017b).

La mayor frecuencia de aparición en las muestras es fibras con 22, seguido de lámina con 15 y gránulo 6 (Figura 27). El porcentaje de composición en los MP presentó el 51% en la forma de fibra, al igual que Rowlands *et al.*, (2023) emiten que recientemente demostró un estudio sobre los MP verticales en aguas marinas, donde las partículas y fibras predominan en los primeros 0 a 150 m, por lo que mantienen menor peso manteniéndose por la columna de agua. Al igual que el zooplancton, aunque no se demuestran los MP ingeridos por el zooplancton, se dio a conocer que el MP está presente mayormente en la laguna costera (Alfonso *et al.*, 2023).

En segundo componente, se tiene la forma de láminas con el 35%, y, por último, a los gránulos con el 14% (Figura 27), logrando mantener tamaños de 100

μm y menores de $50 \mu\text{m}$ del MP, determinado por los tamaños de los tamices que se utilizaron para el MP. Al igual como lo establece Andradý (2017), el límite del MP se considera por la luz de malla de los tamices o los distintos dispositivos utilizados. Por lo tanto, se considera que se encontraron microplásticos en las muestras por el tamaño tomado de referencia. Aunque en ocasiones se presentaban macroplásticos.

9.13. Clasificación del microplásticos con respecto a los subsistemas hidrológicos

La forma que presentó el valor más alto fue el de fibras con $1\,427 \text{ MP}/100 \text{ m}^3$ en el subsistema marino, y granulo con el valor más bajo con $0 \text{ MP}/100 \text{ m}^3$ en el subsistema eurihalino en secas. El valor más alto de los tres subsistemas fue $664 \text{ MP}/100 \text{ m}^3$ fue marino (Cuadro 7). Esto ocurre por la corriente marina que proviene desde de boca de la laguna, donde se mantiene una constante interacción, lo que sugiere que la mayoría de los microplásticos provienen del mar (Tapia-García et al., 2011).

En lluvias se registró un valor más alto de $3\,519$ fibras $\text{MP}/100 \text{ m}^3$ para el subsistema eurihalino, y el valor más bajo fue de 13 gránulos $\text{MP}/100 \text{ m}^3$ en el subsistema marino. En cuanto a Mongalo *et al.*, (2024) indican que en la temporada de lluvias tuvo mayores fibras, presentando la mayor diversidad del microplásticos en la boca de la laguna, ya que mayormente ahí se tuvieron los puntos de muestreos.

A partir de los movimientos constantes que mantienen las lagunas en la temporada de lluvias, sucede la fragmentación de los plásticos; en parte, se debe a la acción de las olas y la abrasión física del mar. Algunos son provenientes de las comunidades que se encuentran cerca de los sistemas. Aunque no son de mayores habitantes, la basura plástica puede ser arrastrada por la acción de los ríos que desembocan en las lagunas (Thompson *et al.*, 2004; Fossi *et al.*, 2012; Matus-Román *et al.*, 2020). Por lo que es evidente que el mayor registro que se

tuvo de los microplásticos fue en época de lluvia, basado en los subsistemas hidrológicos.

Es por ello que, en lluvias, el valor promedio más alto de los tres subsistemas fue 1 196 MP/100 m³ en subsistema eurihalino y el valor más bajo fue 315 MP/100 m³ en subsistema marino. Esto determina que cerca del subsistema eurihalino se encuentran asentamientos humanos y el microplástico proviene de las comunidades y del mar, ya que en lluvias el intercambio de agua que mantiene la laguna es más constantes. Por lo tanto, la hipótesis es rechazada, ya que mayormente se tuvo el valor más alto de microplásticos en laguna Mar Muerto que otras investigaciones, presentándose en el subsistema eurihalino (Cuadro 8)

9.14. Colores de los microplásticos

El color transparente es el más dominante en todas las estaciones, estableciendo el valor más alto con 1 238 MP/100 m³ en la estación 2, seguido del blanco y el azul (Figura 28). Cabe mencionar que se identificaron colores de los MP para tener varios factores en determinar si, se clasifica como plástico, debido a la forma, color y el origen. Esto nos ayudaría más adelante en reportar la composición química de los plásticos, y así conocer si los microplásticos que se registraron en la laguna son perjudiciales para las especies de zooplancton (Véase en anexos IV).

En cuanto a Mongalo *et al.*, (2024) reportaron que de sus ocho colores de microplásticos, los colores más abundantes fueron el color blanco hueso, blanco transparente y azul, es decir, que para laguna Mar Muerto registró los mismos colores con mayor abundancia y frecuencia dentro del sistema.

Aunque para Frías *et al.*, (2010) y Lusher *et al.*, (2017b), consideran que no se ha considerado como una característica importante, los colores de los MP, debido a que corresponde como un matiz subjetivo y no contribuye a su identificación visual, por lo que adquieren mayor relevancia cuando se relaciona con las concentraciones de contaminantes orgánicos persistentes. Para la presencia de los MP, se adopta con mayor frecuencia de aparición el color azul,

seguido del transparente, por otra parte, los de menor aparición en los colores morado, café y amarillo (Figura 29), (véase en anexo III).

Los MP en la laguna pueden ser muy dañino para las especies y el medio ambiente, debido a que se tuvo 10 colores y una gran cantidad de microplásticos a causa de las corrientes dentro la laguna generando acumulación de microplásticos. Por lo que puede desarrollar un alto impacto ambiental, pasando por ser una gran preocupación tanto para los seres humanos y los organismos que habitan en el ecosistema y daños que pueden causar en el medio, tanto físicos, químicos y biológicos (Li *et al.*, 2018a; Li *et al.*, 2018b). De hecho, como indica García-Marín (2019), México no cuenta con una legislación a nivel federal respecto al uso del plástico y la legislación para el manejo de residuos actual es insuficiente (NOM-083-SEMARNAT-2003). Esto es lo que ha provocado severas afectaciones en los ecosistemas.

9.15. Clasificación de los colores del microplástico con respecto a los subsistemas

En secas, el color que tuvo un valor más alto fue el transparente con 1 219 MP/100 m³ en el subsistema de transición y el valor más bajo fue el color amarillo con 0 MP/100 m³ (Cuadro 9). Como lo mencionan Mongalo *et al.*, (2024) la degradación de los plásticos transparentes y blancos suelen fragmentarse más fácilmente y pueden ser menos resistentes a la degradación UV, lo que mantiene con mayor presencia de microplásticos en estos colores en ambientes acuáticos.

El valor más alto de microplásticos, en cuanto a colores, en los tres subsistemas fue 200 MP/100 m³ en el subsistema marino, a diferencia del valor más bajo con 44 MP/100 m³ en subsistema eurihalino (Cuadro 9). Esto indica que, durante esta temporada, la acumulación de microplásticos fue mayor en el subsistema marino. Determinándose por las mareas que entran por la boca de la laguna. Thompson *et al.*, (2004) y Gasperi *et al.*, (2018) determinan que la alta prevalencia de microplásticos de color blanco y transparente mantiene una

tendencia común en la contaminación por microplásticos en diversos cuerpos de agua mayormente en ambientes marinos.

Para lluvias, el color más representativo fue el transparente con 2 787 MP/100 m³ en el subsistema eurihalino, mientras que el color menos representativo fue el amarillo. El subsistema con el valor más alto fue 359 MP/100 m³ en el subsistema eurihalino, y el más bajo fue 94 MP/100 m³ en el subsistema marino (Cuadro 10). Se ha verificado que el subsistema eurihalino se encuentra cercano a los asentamientos humanos y desembocan ríos de escasa dimensión, esto contribuye a una mayor acumulación de microplásticos de distintos colores en este subsistema (Álvarez del Villar y Díaz Pardo ,1973).

Garcés-Ordóñez, (2022) establece los microplásticos se acumulan en áreas más cercanas a asentamientos humanos, ya que provienen de ríos y arriban en ambientes costeros, presentando mayor cantidad de formas y colores en temporada de lluvia. En relación a la laguna Mar Muerto, también determinó mayor microplástico en época de lluvias.

X. CONCLUSIONES

- De los cuatros grupos de zooplancton estudiados se reportan 18 familias, 18 géneros y 15 especies.
- Se encontró una estandarización total de abundancia de 60 437org/100 m³ del zooplancton.
- En la biomasa zooplanctónica temporalmente se demostró que en secas se obtuvo el valor promedio más alto de 0.0171 ml/100 m³ en marzo y en lluvias el valor promedio más bajo de 0.0151 ml/100 m³ en junio.
- La biomasa zooplanctónica fue mayor en otras investigaciones de lagunas costeras del estado (Chiapas y Oaxaca), y menor en las investigaciones del norte del Pacífico mexicano.
- Las especies más abundantes fueron: *L. vannamei*, con 18.65%, *A. lilljeborgii* en 16.32%, y *P. euneritica* 11.23%.
- Las especies dominantes estimadas con el IVI fueron: *L. vannamei*, seguidos de, *A. lilljeborgii*, *P. euneritica*, y el género *Callinectes*.
- Las especies de copépodos *P. wrighti*, *T. discuadata*, *Scolecithricella* sp., *L. acuta* y el quetognato *F. enflata* son reportadas por primera vez en las lagunas costeras del Pacífico sur mexicano.
- Cabe resaltar que en más de 49 años no se había realizado ninguna investigación sobre zooplancton en el área de estudio.
- En la temporada de junio (inicio de lluvias), se obtuvieron los valores más altos en diversidad, riqueza, dominancia y equitatividad del zooplancton que la de marzo (secas).

- La hipótesis planteada es aceptada ya que se tuvo mayor diversidad y abundancia de zooplancton en el subsistema marino.
- El ANOSIM determinó que, dentro de los tres subsistemas hidrológicos con respecto a la abundancia, si existen diferencias significativas.
- El SIMPER, presentó las especies que mantienen mayor similitud en los subsistemas fueron: *A. lilljeborgii*, *L. vannamei*, *L. acuta* y el género *Callinectes*.
- El sistema lagunar presenta nuevas especies de zooplancton registradas, ofreciendo una nueva visión al estado de Chiapas y Oaxaca.
- Se da a conocer la existencia del material microplástico dentro del sistema laguna Mar Muerto, con una estandarización total de abundancia de 9 614 MP/100 m³ de microplásticos.
- La temporada con el valor promedio más alto de abundancia de microplástico fue junio (inicio de lluvias) con 1 903 MP/100 m³.
- La forma que presentó el valor promedio más alto fue fibras con 1 539 fibras MP/100 m³, al igual que la frecuencia.
- El porcentaje de composición en los microplásticos presentó el 51% en la forma de fibra.
- Se encontraron microplásticos 1 a 5 µm, y algunos macroplásticos entre 50 a 100 µm por los tamices.
- En subsistema eurihalino tuvo el valor promedio más alto en formas con 1 196 MP/100 m³ en la temporada de lluvias.
- Se presentó una clasificación de 10 colores de los microplásticos siendo el más abundante el color transparente con un valor promedio de 1 238 MP/100 m³.

- La presencia de los colores de los microplásticos más visto en casi todas las estaciones fue el azul.
- En el subsistema eurihalino tuvo el promedio más alto con 359 MP/100 m³.
- La laguna Mar Muerto, presentó mayor cantidad de microplásticos que otras lagunas costeras, aunque no está ubicado en una zona de alta concentración humana, por ello la hipótesis planteada es rechazada.
- Es necesario tomar medidas acerca del microplástico en Chiapas, ya que hasta el momento no existe ninguna investigación sobre los plásticos y microplásticos, en los ecosistemas dulceacuícolas, costeros, y marinos en el agua.
- Los resultados demuestran que es indispensable que la sociedad conozca los efectos negativos que provocan los microplásticos en los sistemas acuáticos, debido a que pueden ser perjudiciales, para los humanos y los organismos que se encuentran en la columna de agua y que son potenciales de pasar a través de la cadena alimenticia.

XI. RECOMENDACIONES

- Realizar más investigaciones de zooplancton en Chiapas.
- Realizar muestreos más continuos, dentro de los sistemas lagunares ya sea temporales o anuales para conocer mejor la abundancia de las especies.
- Agregar más grupos de zooplancton para tener una mejor representación de las especies presentes.
- Realizar más investigaciones de microplásticos, ya que estamos en una crisis ante el uso desmedido del plástico.
- Para los microplásticos, tomar en cuenta mayores formas y otros factores.
- Realizar estudios de microplásticos en sistemas dulceacuícolas, costeros y marinos.
- Compartir con la sociedad el impacto ambiental, que se registró en el sistema lagunar.

XII. REFERENCIAS DOCUMENTALES

- Acevedo-Quilis, S. 2020. Revisión bibliográfica. Metodologías de extracción de microplásticos en tractos gastrointestinales de *Scylliorhinus canicula* (Linnaeus, 1758). 4 Grado en Ciencias del Mar. Universidad Católica de Valencia. San Vicente Mártir. Pp.1-84. <http://hdl.handle.net/20.500.12466/1135>. Consultado el 01 de enero del 2023.
- Alcolado, P. M. 1998. Conceptos e índices relacionados con la diversidad. *Instituto de Oceanología*. 8 (9): 7-21.
- Aguilera, M. M. y Silva, J. F. 1997. Especies y biodiversidad. *Interciencia*. 22 (6): 57-299-306.
- Alfonso, M. B., Lindsay, D. J., Arias, A. H., Nakano, H., Jandang, S., y Isobe, A. 2023. Zooplankton as a suitable tool for microplastic research. *Science of The Total Environment*, (905):167-329.
- Álvarez-Silva, C. y Gómez-Aguirre, S. 2000. Listado actualizado de la fauna de copépodos (Crustacea) de las lagunas costeras de Veracruz. México. *Hidrobiológica*. 10 (2): 161-164.
- Álvarez Silva, C., Miranda-Arce, G., Lara-Isassi, D., y Gómez-Aguirre, S. 2006. Zooplankton de los sistemas estuarinos de Chantuto y Panzacola, Chiapas, en época de secas y lluvias. *Hidrobiológica*, 16 (2): 175-182.
- Álvarez-Silva, C., y Torres-Alvarado, M. D. R. 2013. Composición y abundancia del zooplankton de la laguna de Coyuca, Guerrero, México. *Hidrobiológica*, 23(2): 241-249.
- Álvarez del Villar, J y Díaz Pardo, E. 1973. Estudio bioecológico del Mar Muerto, Oaxaca. Instituto Politécnico Nacional. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas y Secretaría de Recursos Hidráulicos. México. Pp. 85-225.

- Álvarez Silva, C., Miranda Arce, M. G., y Lara-Isassi, D. 2003. Familia Pontellidae (Crustacea: Copepoda) en la Bahía La Ventosa, Oaxaca, México: Sistemática y ecología. *Revista de Biología Tropical*, 51 (3-4): 737-741.
- Andrady, A.L. 2017. El plástico en los microplásticos: A review. *Marine Pollution Bulletin*, 119: 12–22.
- Armengol, J. 1982. Ecología del zooplancton de los embalses. *Mundo Científico*. 2 (11): 168-178.
- Arriaga, L.V., Aguilar y Alcocer, J. 2000. Aguas continentales y diversidad biológica de México. CONABIO. Pp. 1-327.
- Arfi, R., Pagano, M. y Saint-Jean, L.1987. Comunidades de zooplancton en una laguna tropical (laguna de Ebrie, Costa de Marfil): Variaciones espacio-temporales. *Revista de Hidrobiología Tropical*, 20: 21-35.
- Arreola-Lizárraga JA, LG Hernández-Moreno, S Hernández-Vázquez, F Flores-Verdugo, C Lechuga-Devezé y A Ortega-Rubio. 2003. Ecology of *Callinectes arcuatus* and *C. bellicosus* (Decapoda, Portunidae) in a coastal lagoon of northwest México. *Crustaceana*, 76 (6): 651-664.
- BirdLife International, 2021. Ficha informativa sobre importantes para aves, Istmo de Tehuantepec Mar Muerto. <http://datazone.birdlife.org/site/factsheet/istmo-de-tehuantepec--mar-muerto-iba-mexico>. Consultado el 15 de abril de 2021.
- Bollaín-Pastor y Agulló, D. V.2019. “Presencia de microplásticos en aguas y su potencial impacto en la salud pública”. *Revista Española de Salud Pública*, 93(28): 10.
- Björnberg, T.K.S.1981. Copepoda En: Boltovskoy, 1981. Atlas de zooplancton del Atlántico Sudoccidental y métodos de trabajo con el zooplancton marino. Publicación del Instituto Nacional. Investigación de Desarrollo Pesquero Mar de Plata.

- Boltovskoy, D. 1981. Atlas del zooplancton del Atlántico Sudoccidental y métodos de trabajo con el zooplancton marino. Publicación del Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero, Mar de Plata Argentina. Pp. 946.
- Boschi, E.E. 1981. Larvas de Crustacea Decapoda. En: Boltovskoy, D. 1981. Atlas del zooplancton del Atlántico Sudoccidental y métodos de trabajo con el zooplancton marino. Publicación del Instituto Nacional de Investigación de Desarrollo Pesquero Mar de Plata Argentina. Pp. 916.
- Boschi, E.E. y Scelzo, M. A. 1969. Nuevas campañas exploratorias camarónicas en el litoral argentino 1967-1969. Con referencias al plancton de la región. FAO, Proyecto del *Desarrollo. Pesquero*, Mar de Plata. 16:1-31.
- Brusca, R. y Brusca, G. 2005. Invertebrados. McGraw Hill. Interamericana. Madrid. España. Pp. 197-202.
- Brower, E. J. y Zar, J. H. 1977. Field and laboratory methods for general ecology. Wm.C. Brown Company Publishers. 3ª Edición. Wm. C. Inc. New York. Pp. 25-51.
- Castañeda, O. L., y Contreras, F. 2004. La biodiversidad de las lagunas costeras. Revista. *Ciencia*, 76.
- Calderón-Pérez, J.A., Macías-Regalado, E., Rendón-Rodríguez, S. 1989. Clave de Identificación para los estadios de postlarvas y primeros juveniles de camarón del género *Penaeus* (Crustacea: Decapoda) del Golfo de California, México. *Ciencias Marinas*, 15(3): 57-70. <http://dx.doi.org/10.7773/cm.v15i3.653>
- Celis-Hernández, O., Ávila, E., Ward, R. D., Rodríguez-Santiago, M. A. & Aguirre-Téllez, J. A. (2021). Microplastic distribution in urban vs pristine mangroves: using marine sponges as bioindicators of environmental Pollution. *Environmental Pollution*. 248: 117-391.

- Cervantes-Castro, D. 1969. Estabilidad del acceso a la laguna del Mar Muerto, Chiapas. México. Memorias del Simposio Internacional de las Lagunas Costeras. UNAM-UNESCO. México. Pp. 367-376.
- Cervantes-Hernández, P., Gallardo-Berumen, M. I., Ramos-Cruz, S., Gómez-Ponce, M. A., y Gracia-Gasca, A. 2008. Análisis de las temporadas de veda en la explotación marina de camarones del Golfo de Tehuantepec, México. *Revista de biología marina y oceanografía*, 43(2): 285-294
- Cervantes-Hernández, P., Gómez-Ponce, M. A., Puentes-Salazar, A., Castrejón-Rodríguez, U., y Gallardo-Berumen, M. I. 2016. Variabilidad espacial de la captura ribereña de camarón en el Sistema Lagunar Mar Muerto, Oaxaca-Chiapas, México. *Hidrobiológica*, 26(1): 23-34.
- Ciechomski, J. 1981. Ictioplancton. En: D. Boltovskoy (ed.). Atlas del zooplancton del Atlántico sudoccidental y métodos de trabajo con zooplancton marino. Instituto de Investigación y Desarrollo Pesquero, Publicación Especial, Mar de Plata, Pp. 829-861.
- Conde-Porcuna, J. M., Ramos-Rodríguez, E. y Morales-Baquero, R. 2004. El zooplancton como integrante de la estructura trófica de los ecosistemas lenticos. *Revista Ecosistemas*.13 (2): 23-29.
- Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca (CONAPESCA). 2021. Anuario Estadístico de Anuario y Pesca. Mazatlán, Sinaloa-México. https://nube.conapesca.gob.mx/sites/cona/dgppe/2021/ANUARIO_ESTADISTICO_DE_ACUACULTURA_Y_PESCA_2021.pdf. Consultado el 20 de agosto del 2023.
- Cooper, D.A., Corcoran, P.L. 2010. Effects of mechanical and chemical processes on the degradation of plastic beach debris on the island of Kauai. Hawaii. *Marine Pollution Bulletin*, 60: 650–654.
- Clarke, K.R. 1993. Non-parametric multivariate analysis of changes in community structure. *Austral Journal of Ecology*., 18:117-143.

- Cruz-Rosado, L., Contreras-Sánchez, W. M., Hernández-Vidal, U., Gómez-Gutiérrez, J., Contreras-García, M. D. J., y Mcdonal-Vera, A. 2020. Variabilidad estacional de la estructura de la comunidad de zooplankton cerca de la superficie en el sur del Golfo de México. *Revista latinoamericana de investigaciones acuáticas*, 48(4): 649-661.
- De-la-Torre, G. E. 2019. Microplásticos en el medio marino: una problemática que abordar. *Revista Ciencia y Tecnología*, 15(4): 27-37.
- De Moura, M. S. y Vianna, M. 2020. A new threat: assessing the main interactions between marine fish and plastic debris from a scientometric perspective. *Reseñas en biología de Peces y Pesca*, 30(4): 623–636.
- Deng, H., He, J., Feng, D., Zhao, Y., Sun, W., Yu, H. y Ge, C. 2021. Contaminación por microplásticos en ecosistemas de manglares: una revisión crítica del conocimiento actual y las direcciones futuras. *Ciencia Medio Ambiente Total*, 753: 142041.
- De Silva-Dávila, R., Palomares-García, R., Zavala-Norzagaray, A., y Escobedo-Urías, D. C. 2006. Ciclo anual de los grupos dominantes del zooplancton en Navachiste, Sinaloa. *Contribuciones al estudio de los crustaceos del Pacífico Oriental*, (1): 26-39.
- Escamilla, J.B, Suárez-Morales, E y Gasca, R. 2011. Distribución del zooplancton durante flujos de marea opuestos en el complejo lagunar de Chelem, Yucatán, México. *Revista de Biología Tropical*, 49(1): 47-51.
- Escudero-Díaz, M., 1975. Estudio del zooplancton de la laguna del Mar Muerto, Oaxaca-Chiapas. Tesis Licenciatura. Facultad de Ciencias Universidad Autónoma de México. México D.F.Pp.69.
- Espinosa-Romero, M. J., Cisneros-Mata, M. A., McDaniels, T., y Torre, J. 2014. Aplicación del enfoque ecosistémico al manejo de pesquerías artesanales. Caso de estudio: Puerto Libertad, Sonora. *Ciencia Pesquera*, 22(2): 65-77.

- Esteves, FA, A Caliman, JM Santangelo, RD Guariento, VF Farjalla y RL Bozelli. 2008. Neotropical coastal lagoons: An appraisal of their biodiversity, functioning, threats and conservation management. *Brazilian Journal of Biology*, 68(4): 967-981.
- Etilé, RND, Kouassi, AM, Aka, MNG, Pagano, M., N'douba, V., y Kouassi, NGJ 2009. Variaciones espacio-temporales de la abundancia y composición del zooplancton en una laguna costera tropical de África occidental (Grand-Lahou, Costa de Marfil). *Hidrobiología*, (624), 171-189.
- Flores-Vargas, R., y Navarro-Rodríguez, N. R. (2018). Fluctuaciones en la composición y abundancia del zooplancton en la laguna costera Barra de Navidad, Jalisco. *Acta Pesquera*, 4(8): 16-27.
- Folt, C. y Burns. C. W. 1999. Biological drivers of zooplankton patchiness. *Trends Ecology Evolution*. 14: 300-305.
- Farrell, P y Nelson, K. 2013. Trophic level transfer of microplastic: *Mytilus edulis* (L.) to *Carcinus maenas* (L.). *Environmental Pollution*. 177: 1-3.
- Filgueiras, A. V., Preciado, I., Cartón, A., y Gago, J. 2020. Microplastic ingestion by pelagic and benthic fish and diet composition: A case study in the NW Iberian shelf. *Marine Pollution Bulletin*, 160: 111623.
- Frias, J.P.G.L., Nash, R. 2019. Microplastics: In search of a consensus on its definition. *Marine Pollution Bulletin*, 138: 145–147.
- Frias, J.P., Sobral, P., Ferreira, A.M. 2010. Organic contaminants in microplastics from two beaches on the Portuguese coast. *Marine Pollution Bulletin*, 60(11): 1988-1992.
- Fossi, M. C., Panti, C., Guerranti, C., Coppola, D., Giannetti, M., Marsili, L. y Minutoli, R. 2012. ¿Are baleen whales exposed to the threat of microplastics? A case study of the Mediterranean fin whale (*Balaenoptera physalus*). *Marine Pollution Bulletin*, 64(11): 2374–2379.

- Galvín, R. M., Sanz R. A, Faus, M. P., Salmerón, L. M., Borrego, M. y Recuerda, R. P. 2019 “Microplásticos en aguas: presencia, investigación y potencial incidencia sanitaria sobre el ser humano”, *Tecnoaqua*. 36: 76–86.
- García-Marín, L. 2019. Plásticos en los Océanos. Oficina de Información Científica y Tecnológica para el Congreso de la Unión. NOTA- Foro Consultivo Científico y Tecnológico. Delegación Coyoacán. Ciudad de México. www.foroconsultivo.org.mx. Consultado el 20 de agosto del 2021.
- García- Jiménez. M. A. 2004. Variación estacional del reclutamiento de camarón en la Pampona (Playa Bernal) de la Laguna Mar Muerto, Oaxaca-Chiapas. Tesis de Licenciatura en Biología Marina. Universidad del Mar. Puerto Ángel, Oaxaca.
- Garcés-Ordóñez, O. 2022. Contaminación por microplásticos en manglares y playas del área marina protegida de Cispata, Caribe colombiano. *Revista Ciencias Marinas y Costeras*, 14(2): 9-25.
- Gasca, R y Suárez-Morales. E. 1996. Introducción al Estudio del Zooplancton Marino. En Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR)/CONACTY. México. Pp. 711.
- Gasca R y Castellano, I. 1993. Zooplancton de la bahía de Chetumal, Mar Caribe, México. *Revista de biología tropical*, 4(3): 619-625.
- Gaston, K.J. 1996. Species richness: measure and measurement. In: Biodiversity, a biology of numbers and difference. K. J. Gaston (Ed.) Blackwell Science, Cambridge. Pp. 77-113.
- Gasperi, J., Wright, S. L., Dris, R., Collard, F., Mandin, C., Guerrouache, M., y Tassin, B. 2018. Microplastics in air: ¿are we breathing it in? *Current Opinion in Environmental Science y Health*, 1: 1-5.
- González, A. 1988. Plancton de las aguas continentales. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos. Washington. D.C. Pp. 1-130.

- Gonzabay-Cabrera, C. A. 2008. Identificación de crustáceos y moluscos macroinvertebrados asociados al ecosistema manglar de la comuna Palmar. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias del Mar. Universidad Estatal Península de la Santa Elena. La Libertad Ecuador.
- Gómez-Aguirre, S. 1987. Plancton de lagunas costeras de México. En: Gómez-Aguirre, S. y Arenas-Fuentes. V., ed. *Contribuciones en Hidrobiología*. UNAM, México, Pp. 207-221.
- Gewert, B., Plassmann, M.M., MacLeod, M. 2015. Pathways for degradation of plastic polymers floating in the marine environment. *Environmental Science: Processes and Impacts*, 17: 1513–1521.
- Guzzetti, E., Sureda, A., Tejada, S., y Faggio, C. 201. Microplastic in marine organism: Environmental and toxicological effects. *Environmental toxicology and pharmacology*, 64: 164-171.
- Hanson, P., Springer, M. y Ramírez, A. 2010. Capítulo 1: Introducción a los grupos de macroinvertebrados acuáticos. *Revista de Biología Tropical*. 58: 3-37.
- Hendrickx, M. E. 1993. Crustáceos decápodos del Pacífico mexicano. *Biodiversidad marina y costera de México*, 271: 318.
- Hernández-Estrada. 2023. Estructura y distribución espacio-temporal de la ictiofauna en la laguna Mar Muerto, México. Tesis de Licenciatura. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.
- Hulselmann, K, 1966. A revisión of the genus *Lucicutia* (Copepoda: Calanoida) with a key to its especies. *Bull. Mar. Sci.* 16:702-747.
- Hammer, Ø. Harper, D.A. T., y Ryan, P. D 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontol. Electron.* 4(1): 1-9.
- Horton, A.A., Walton, A., Spurgeon, D.J., Lahive, E., Svendsen, C. 2017. Microplastics in freshwater and terrestrial environments: Evaluating the

- current understanding to identify the knowledge gaps and future research priorities. *Science of the Total Environment*, 586: 127–141.
- Instituto Nacional de Ecología (INE) 1999. Programa de Manejo Reserva de la Biosfera La Encrucijada. México. D.F. Pp. 3-184.
- Jost, J. y A. González-Oreja. 2012. Midiendo la diversidad biológica: más allá del índice de Shannon-Wiener. *Acta Zoológica Lilloana* 56: 3-14.
- Kjerfve B., y Magill, E. K. 1989. Geographical and hydrodynamic characteristics of shallow coastal lagoons. *Marine Geology*. 88: 187-199.
- Kovač Viršek M., Palatinus, A., Koren, S., Peterlin, M., P. Horvat, P. y Kržan, A. 2016 “Protocol for microplastics sampling on the sea surface and sample analysis”, *JoVE (Journal of Visualized Experiments)*, (118): 55-161
- Kozak, E., Suárez-Morales, E., Palomares-García, R., y Franco-Gordo, del Carmen M. 2014. Copépodos de la costa sur de Jalisco y Colima. En: Franco-Gordo. M.C Inventario de biodiversidad de la costa sur de Jalisco y Colima. Vol.1. 79-91.
- Lagos, A., Angulo, A., Daza, A., Toro, D., González, J., León, M., López, M., Naar, O., Polanco, P., Lodoño, R. y Quiroga, S. 2014. Zooplancton. *INFOZOA Boletín de Zoología*. 13: 1-3.
- Li, J., Huihui, L., Chen, P. 2018a. Microplastics in freshwater systems: A review on occurrence, environmental effects, and methods for microplastics detention. *Water Research*, 137: 362–374.
- Li, L., Xu, G., Yu, H., y Xing, J. 2018b. Dynamic membrane for micro-particle removal in wastewater treatment: performance and influencing factors. *Science of the Total Environment*, 627: 332-340.
- Llanos-Rivas, J. R. 1987. Abundancia y Distribución del zooplancton en la laguna de Coyuca de Benítez, en Guerrero, México. Tesis de Licenciatura.

Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. Pp. 1-106.

Lugo González, D. A., Aguilar, V. H., Casotto, M., Laurentin, A. y Gómez, A. 2013. Aplicabilidad de estadística multivariada para estudios nutricionales: bioensayo con el gorgojo de arroz (*Sitophilus oryzae* L). *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. 63 (3): 232-239.

Lankford, R. R. 1997. Lagunas Costeras de México, su origen y clasificación, en Wiley, M, (Eds.) Proceso estuarino, Prensa Académica. Publicado por Elsevier Incorporada. México. Pp. 182-215.

Landry, R.M.1976. Population dynamics of the planktonic marine copepod *Acartia clausi* Giesbrecht in small temperate lagoon. Tesis de la Universidad de Washington.

Lincoln, R.J., G. A., Boxsball y P. F., Clark. 1995. Diccionario de ecología, evolución y taxonomía. Fondo de cultura económica. México. Pp. 488.

López-Serrano, A., y Serrano-Guzmán, S. J. 2013. Composición por grupos y abundancia del mesozooplankton en la Laguna Inferior (Sistema Lagunar Huave, Oaxaca, México), en mayo y septiembre-octubre de 2007. *Ciencia y Mar*, (51): 3-14.

Lusher, A. L., Welden, N. A., Sobral, P., y Cole, M. 2017a. Muestreo, aislamiento e identificación de microplásticos ingeridos por peces e invertebrados. *Métodos analíticos*, 9(9), 1346-1360.

Lusher, A., Hollman, P. y Mendoza-Hill, J. 2017b. Microplastics in fisheries and aquaculture: status of knowledge on their occurrence and implications for aquatic organisms and food safety. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper*. Rome, Italy. Pp. 1-79.

Magurran, A. E. 1988. Ecological diversity and its measurement. Princeton University Press, New Jersey. Pp. 1-179.

- Mecalco-Hernández, Á., Castillo-Rivera, M. A., Sanvicente-Añorve, L., Flores-Coto, C., y Álvarez-Silva, C. 2018. Variación estacional y nictímera en la distribución del zooplancton dominante en una laguna costera tropical. *Revista de biología marina y oceanografía*, 53(1): 39-49.
- Mecalco-Hernández, Á., y Castillo-Rivera, M. 2020. Riqueza zooplanctónica en la boca de la Laguna La Mancha, durante muestreos mensuales y nictímeros. *Hidrobiológica*, 30(2): 143-153.
- Mongalo, B. F. E., Suazo, E. G. R., Estrada, E. A. S., y Flores-Pacheco, J. A. 2024. Microplásticos en un ecosistema lagunar del trópico húmedo nicaragüense y su incidencia en poblaciones de *Crassostrea rhizophorae*. *Revista Científica Estelí*, (50): 198-214. <https://doi.org/10.5377/esteli.v13i50.18483>
- Martínez-Guerrero, A. 1978. Distribución y variación estacional del zooplancton en cinco lagunas costeras del Estado de Guerrero. *Anales del Centro de Ciencias del Mar y Limnología*, 5, 201-214. <http://www.biblioweb.tic.unam.mx/cienciasdelmar/centro/19781/articulo43.html>. Consultado el 20 de marzo de 2024.
- Mariano-Benitez, de los Ángeles M., Flores-Rodríguez, P., Ruíz-Campos, G., Torreblanca-Ramírez, C., Padilla-Serrato, J. G., y Almazán-Núñez, R. C. 2023. Comunidad ictioplanctónica en la laguna de Coyuca de Benitez, Guerrero, México. *Boletín Científico INVESTIGIUM de la Escuela Superior de Tizayuca*, 9 (Especial), 29-35.
- Moreno, C. E. 2000. Métodos para medir la biodiversidad. Manuales y tesis. MyT-Manuales y Tesis. SEA. Oficina Regional de Ciencia y Tecnología para América Latina y el Caribe, UNESCO. Pp. 84.
- Massutí, M. y Margalef, R. 1950. Introducción al estudio del plancton marino. Patronato Juan de la Cierva de Investigación Técnica. España. Pp. 1-190.
- Moser, H. G. (Ed.). 1996. The early stages of fishes in the California Current region. US Department of the Interior, Minerals Management Service, Pacific OCS Region. Pp. 1517.

- Matus-Román, K.O., González-Alemán, N., y Flores-Pacheco, J.A. 2020. Comunidades de macroinvertebrados: bio-indicadores de la calidad del agua en el Territorio Indígena Rama-Kriol. *Ciencia e Interculturalidad*, 27(02): 129-146. <https://doi.org/10.5377/rci.v27i02.10438>
- Mayr, E. 1992. A local flora and the biological species concept. *American Journal of Botany*. 79: 222-238.
- Nelson, J. S. Grande, T. C. y Wilson, M. V. 2016. *Fishes of the World*. John Wiley and Sons. Pp. 711.
- Núñez-Orozco, AL, Labastida-Che, A., y Oviedo-Piamonte, JA 2013. Composición y abundancia de la ictiofauna en la franja sublitoral del Golfo de Tehuantepec, Oaxaca/Chiapas, México. *Ciencia Pesquera*, 21 (2): 29-40.
- Nava- Nava, M. M. 1985. Estudio de zooplancton de Salinas Cruz, Oaxaca. Tesis de Licenciatura. Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Navarro-Rodríguez, M.C, Flores-Vargas, R. y Gutiérrez. L. D.K. 2023. Los enigmáticos gusanos flecha. *Revista de Divulgación Multidisciplinaria del Centro Universitario de la costa*, 2(3).
- Ocampo-Victoria, L., 1994. Evaluación del efecto de la temperatura y del peso en el consumo de oxígeno del camarón café *Penaeus californiensis* (Holmes 1900) (Decapoda: Penaeidae. Tesis de Maestría en Ciencias Marinas. Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, B. C. S., México.
- Ordóñez-López, U., y Ornelas-Roa, M. 2003. Variaciones de la comunidad de copépodos plánticos en el gradiente estuarino-costero de Celestún, Yucatán, México. *Hidrobiológica*, 13(3): 231-238.
- Olmos-Espinar, S. 2021. Presencia y evolución de microplásticos en estaciones depuradoras de aguas residuales de la Región de Murcia: propuesta de las mejores tecnologías disponibles para una emisión cero. Tesis Doctoral.

Departamento de Ingeniería y Química Ambiental. Universidad Politécnica de Cartagena. Cartagena.

- Omori. M. y Hamner, W.H. 1982. Patchy distribution of zooplankton: behavior, population assessment and sampling problems. *Marine Biology.*, 72: 193-200.
- Ortiz-Ortiz, J.O. y Teodoro-Salvador, M. E. 1990. "Algunos Aspectos Ecológicos del zooplancton en la laguna costera de Chacahua y Pastoría, Oaxaca. Tesis de Licenciatura. Escuela Nacional de Estudios Profesionales "ZARAGOZA". Universidad Nacional Autónoma de México. México. D.F.Pp.1-27.
- Palma, S. 2001. ÍNDICE BIBLIOGRÁFICO SOBRE BIODIVERSIDAD ACUÁTICA DE CHILE: QUETOGNATOS (CHAETOGNATHA). *Revista Ciencia y Tecnología del Mar*, 24: 111-114.
- Palomares-García R, E Suárez y S Hernández. 1998. Catálogo de los copépodos (Crustacea) pelágicos del Pacífico mexicano. Coedición CICIMAR-IPN, ECOSUR. Pp.352.
- Phuong, N. N., Zalouk-Vergnoux, A., Poirier, L., Kamari, A., Chatel, A., Mouneyrac, C., Lagarde, F. 2016. Is there any consistency between the microplastics found in the field and those used in laboratory experiments? *Environmental Pollution*, 211:111–123.
- Pierrot-Bults, A.C y Nair V.R. R 1991. Distribution patterns in Chaetognatha. In: Q. Bone, Q. Kapp, H y Pierrot-Bults (eds). *The Biology of Chaetognaths*. Oxford University Press. Pp.86-116.
- Pierrot- Bults, A. C. 1990. Diseases of Chaetognatha. En: O Kinne (Eds). *Diseases of marine animals*. Instituto Biológico Heligoland, Alemania. Pp. 425-438
- Pantaleón-López, B. Aceves, G. y Castellanos, I. A. 2005. Distribución y abundancia del zooplancton del complejo lagunar Chacahua-La Pastoría, Oaxaca, México. *Revista mexicana de biodiversidad*. 76 (1): 63-70.

- Peters, F. 2020. Impacto sobre el ecosistema marino. Plancton. Resumen sobre la Formación y Consecuencias de la Borrasca Glorial. Instituto de Ciencias del Mar. Borrasca Glorial. Europa. Pp. 25-27.
- Pérez-Domínguez, R., Maci S., Courrat A., Lepage, M., Borja, A., Uriarte, A. 2012. Current developments on fishbased indices to assess ecological-quality status of estuaries and lagoons. *Ecological Indicators*, 23, 34-45.
- Purca, S., y Henostroza, A. 2017. "Presencia de microplásticos en cuatro playas arenosas de Perú", *Revista Peruana de biología*, 24(1):101–106. doi: <http://dx.doi.org/10.15381/rpb.v24i1.12724>.
- Richards y Vázquez-Yeomans, 1996 Ictioplancton En: Gasca, R y Suárez-Morales. E. (Eds). Introducción al Estudio del Zooplancton Marino. En Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR)/CONACTY. México. Pp. 631.-664.
- Rojas G, J y Vidal, R. R., M. 2008. Catálogo tipológico de los humedales lacustres y costeros de Chiapas, (CONAGUA), Editor: (SEMARNAT) México, D.F. www.conagua.gob.mx. Consultado en el 28 de abril del 2021.
- Ramos-Cruz S. 2008. Estructura y parámetros poblacionales de *Callinectes arcuatus* Ordway 1863 (Decapoda: Portunidae), en el sistema lagunar La Joya-Buenavista, Chiapas, México. Julio a diciembre de 2001. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*, 3(3): 259-268.
- Ramos-Cruz, S. 2000. Composición por tallas, edad y crecimiento de *Litopenaeus vannamei* (Natantia: Penaeidae), en la laguna Mar Muerto, Oaxaca-Chiapas, México. *Revista de Biología Tropical*, 48(4): 873-882.
- Ramos-Cruz, S., Sánchez-Meraz, B., Carrasco-Ayuso, F., y Cervantes-Hernández, P. 2006. Estimación de la tasa de mortalidad natural de *Farfantepenaeus californiensis* (Holmes, 1900) y *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) en la zona costera del Golfo de Tehuantepec, México. *Revista de biología marina y oceanografía*, 41(2): 221-229.

- Rochman, C. M., Brookson, C., Bikker, J., Djuric, N., Earn, A., Bucci, K., y Hung, C. 2019. Rethinking microplastics as a diverse contaminant suite. *Environmental toxicology and chemistry*, 38 (4): 703-711.
- Romero-Berny, E. I., Velázquez-Velázquez, E., Anzueto-Calvo, M. J., Urbina-Trejo, E. y Schmitter-Soto, J. J. 2018. The fish fauna of three lagoon-estuarine systems in the northeastern Gulf of Tehuantepec, Mexican south Pacific. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 89, (1): 87-100.
- Ruíz-Pineda, C., Suárez-Morales, E., y Gasca, R. 2016. Copépodos planctónicos de la Bahía de Chetumal, Caribe Mexicano: variaciones estacionales durante un ciclo anual. *Revista de biología marina y oceanografía*, 51(2): 301-316.
- Rivera-Acuña 2013. Comunidad zooplanctónica de la laguna costera las Guásimas, Sonora. Tesis de Licenciatura. División de Ciencias Biológicas y de la Salud. Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas. Universidad de Sonora. Pp. 69.
- Rowlands, E., Galloway, T., Cole, M., Peck, V.L., Posacka, A., Thorpe, S., Manno, C., 2023. Vertical flux of microplastic, a case study in the Southern Ocean, South Georgia. *Marine Pollution Bulletin*, 193: 115117.
- Shannon, C. y W. Weaver. 1964. *The Mathematical Theory of Communication*. University Illinois Press. Urbana. E.U 117: 1-4.
- Soler, P., Berroterán, J., Gil, J., y Acosta, R. 2012. Índice valor de importancia, diversidad y similitud florística de especies leñosas en tres ecosistemas de los llanos centrales de Venezuela. *Agronomía tropical*, 62(1-4), 025-038.
- Salinas, D. H. L. 1990. Aportaciones al cálculo del índice de valor biológico (Sanders, 1960). *Ciencias Marinas*, 16(2): 97-115.
- Sánchez-Ortiz CA y J Gómez-Gutiérrez. 1992. Distribución y abundancia de los estadios planctónicos de la jaiba (Decapoda: Portunidae) en el complejo

- lagunar Bahía Magdalena, B.C.S., México. *Revista Investigación Científica. Universidad Autónoma Baja California Sur. (Ser. Ciencias del Mar)*, 3: 47-60.
- Sánchez-Ramírez, J. E. 2018. Plásticos y microplásticos en agua, un problema mundial que afecta nuestros sistemas acuáticos. *Revista Ingeniería y Región*, (19): 1-1.
- Smith, P.E y Richardson, L. 1979. Técnicas modelo para prospecciones de huevos de larvas de peces pelágicos. FAO. Documento de Pesca. Roma. Italia Pp. 105-107.
- Suárez-Morales, E. 1994a. Comunidades zooplanctónicas de las lagunas costeras. En: De La Lanza-Espino, G. y Cáceres-Martínez. C. (Eds.). *Lagunas Costeras y el Litoral Mexicano*. Universidad Autónoma de Baja California Sur, Pp. 247-268.
- Thompson, RC, Y. Olsen, RP Mitchell, A. Davis, SJ Rowland, AWG John, A. McGonigle y AE Russell. 2004. Perdido en el mar ¿Dónde está todo el plástico? *Ciencia*, 304: 838.
- Tapia-García M., Abad, García-Abad M.C., Penagos García, F.E., Moreno Ruiz, J.L., Juárez Hernández, L.J., Ramírez Gutiérrez, J.M. y Herrera Olayo, D. 2011. Subsistemas hidrológicos de la laguna Mar Muerto, Oaxaca-Chiapas, México. *Lacandonia*, 5(1): 97-112.
- Tapia-García, M., Suárez Núñez, C., Cerdenares, G., de Guevara, L., Montes, M. y Abad, G. 1998. Composición y distribución de la ictiofauna en la Laguna del Mar Muerto, Pacífico mexicano. *Revista de Biología Tropical*. 46 (2): 277-284.
- Tapia-García M., Abad, García-Abad M.C., Penagos García, F.E., Moreno Ruiz, J.L., Juárez Hernández, L.J., Ramírez Gutiérrez, J.M. y Herrera Olayo, D. 2011. Subsistemas hidrológicos de la laguna Mar Muerto, Oaxaca-Chiapas, México. *Lacandonia*, 5(1): 97-112.

- Torres-Bejarano, A. M 2013. Ecología trófica y dinámica del zooplancton en dos lagos de inundación de la amazonia colombiana. Tesis de Maestría. Estudios Amazónicos Universidad Nacional de Colombia. Amazonía.
- Turner, J.T. 1982. The anual cycle of zooplankton in a Long Island estuary. *Estuaries*. 5(4):261-274.
- Tovilla-Hernández, C. y Vázquez-Lule, A. D. 2009. Caracterización del sitio de manglar Mar Muerto. Sitios de manglar con relevancia biológica y con necesidades de rehabilitación ecológica, Conabio. México, D.F. Pp. 1-18.
- Tuozzo-Izaguirre, M. M. 2018. Los quetognatos (Animalia: Chaetognatha) del Caribe venezolano. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. Universidad Central de Caracas, Venezuela.
- Villalba, W., Márquez-Rojas, B., Troccoli, L., Alzolar, M., y López, J. 2017. Composición y abundancia del zooplancton en la laguna El Morro, Isla de Margarita, Venezuela. *Revista peruana de biología*, 24(4): 343-356.
- Wickstead, J. H. 1979. *Zooplankton marino*. Ediciones Omega, S.A. Barcelona. Pp. 70
- Wagner, M., Scherer, C., Álvarez-Muñoz, D., Brennholt, Bourrain, X., Buchinger, S. y Rodriguez-Mozaz, S. 2014. Microplastics in freshwater ecosystems: what we know and what we need to know. *Environmental Sciences Europe*. 26 (12): 2-9.
- Whittaker, R. H. 1972. Evolution and measurement of species diversity. *Taxon*, 21 (2/3): 213-251.
- Wetzel, R. G. 2001. Limnology. Lakes and Rivers Ecosystem. Third. *Academic Press*. San Diego. Pp. 1-1006.
- Werlinger, C., Alveal, K. y Romo, H. 2004. Biología marina y oceanografía: conceptos y procesos. En: Escribano, B. y Castro, L (eds) Plancton y productividad. y organismos de los bentos marinos sublitoral; algunos

aspectos sobre abundancia y distribución. Consejo Nacional del Libro y la Lectura. Chile. Pp. 315-349.

Wright, S. L., Thompson, R. C., y Galloway, T. S. 2013. The physical impacts of microplastics on marine organisms: a review. *Environmental Pollution*, 178: 483-492.

Xu, S., Chen, Z., Li, S. y He, P. 2011. Modeling trophic structure and energy flows in a coastal artificial ecosystem using Mass-Balance Ecopath model. *Estuaries and Coasts*, 34, 351–363.

Yáñez-Arancibia, A. 1978. Taxonomía, ecología y estructura de las comunidades de peces en lagunas costeras con bocas efímeras del Pacífico de México. *Publicaciones especiales-Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. UNAM*, (2): 1-306.

Zobkov, M. B., y Esiukova, E. E. 2018. Microplastics in a Marine environment: Review of Methods for Sampling, Processing, and Analyzing of Microplastics in Water, Bottom Sediments, and Coastal areas. Deposits. *Oceanology*, 1(58):137-143.

Zarate-Vidal, S., E.1985. Algunos Aspectos Ecológicos del Ictioplancton de las Lagunas de Chacahua y Pastoría, Oaxaca. Licenciatura en Biología. Escuela de Estudios Profesionales “Zaragoza”. Universidad Nacional Autónoma de México. México. D.F. Pp. 129.

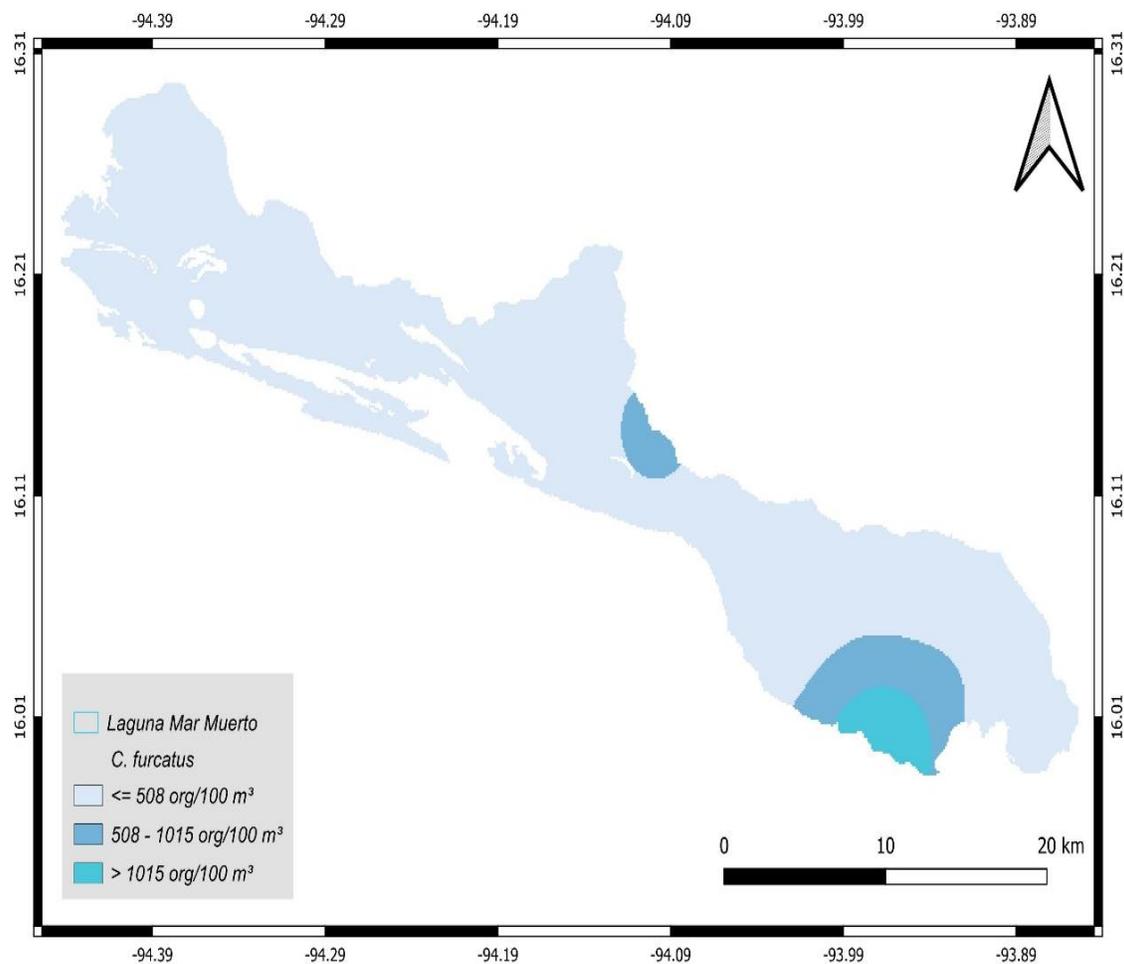
Zavala-García, F. y Espinoza-Fuentes, M. 2000. Muestreo de zooplancton. Métodos de muestreo en la investigación oceanográfica. *Revista Biología Marina y Oceanografía*, 448: 5-230.

ANEXOS

Anexo I. Mapas de Distribución espacial del zooplankton.

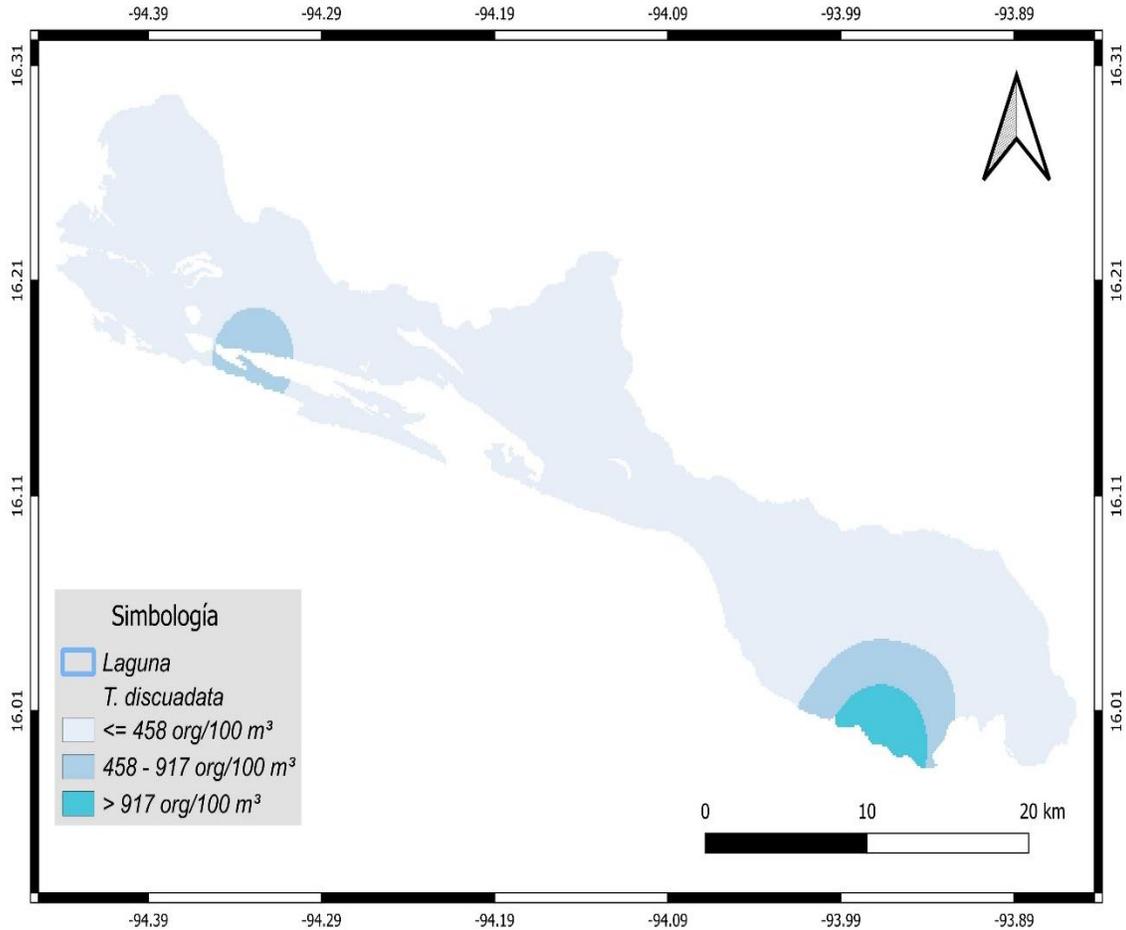
Copépodos: Se presenta las seis especies y un género: *C. furcatus*, *T. discuadata*, *E. acutifrons*, *P. wrighti*, *Scolecithricella sp.*, *Oncaea sp*, *Subeucalanus*, con respecto a su valor más alto y el más bajo para tener una mejor visión del comportamiento de las especies.

Para la especie *C. furcatus* tuvo una abundancia total de 2 659 org/100 m³. El valor de los tres subsistemas fue 573 org/100 m³. El subsistema con el valor más alto fue el marino con 378 org/100 m³, y el valor más bajo fue el subsistema eurihalino con 10 org/100 m³.



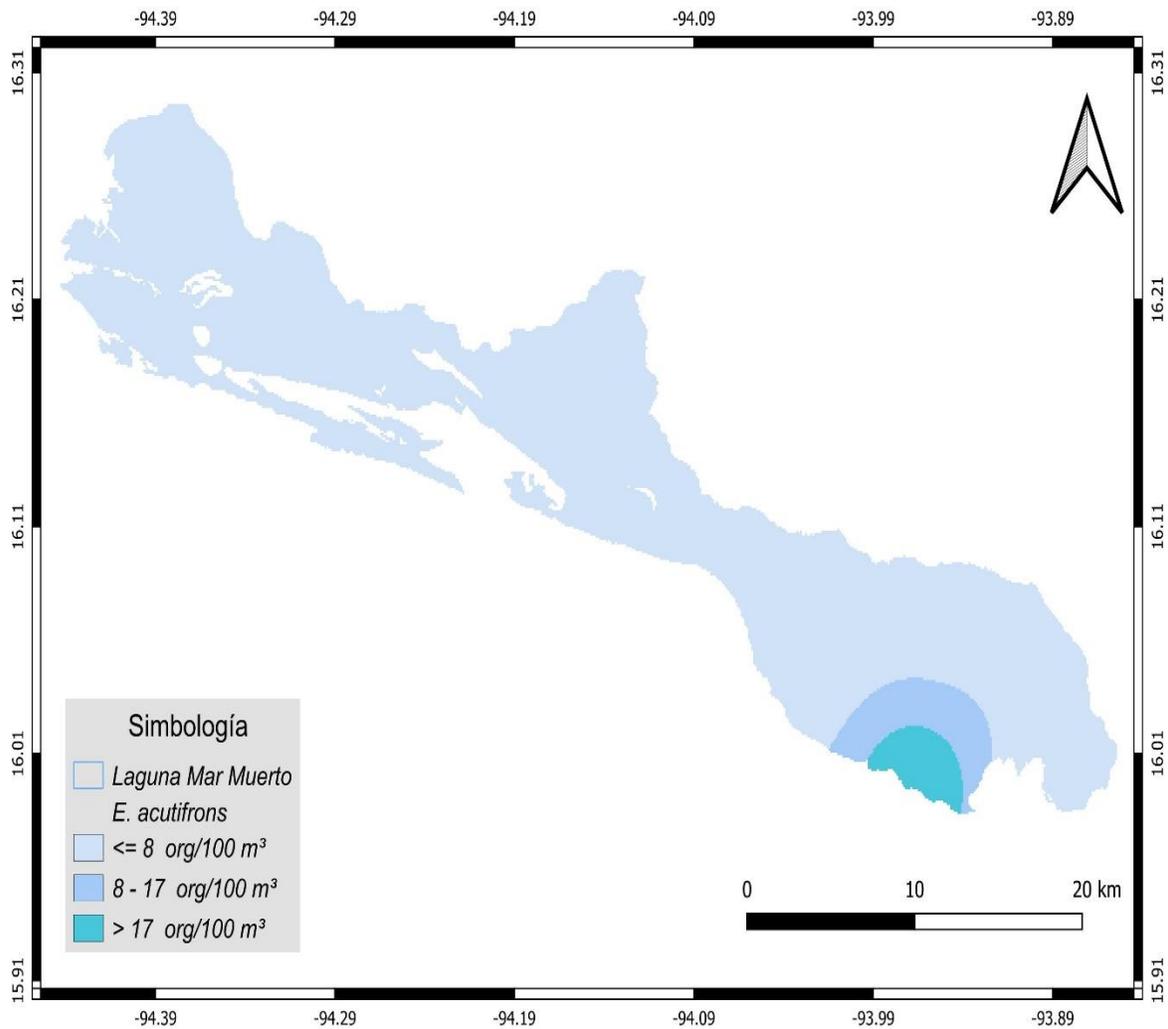
Mapa de distribución de la especie *C. furcatus* en la laguna Mar Muerto, México.

Para la especie *T. discuadata* tuvo una abundancia total de 2 051 org/100 m³. El valor promedio en los tres subsistemas fue 497 org/100 m³. El subsistema con el valor más alto fue el marino con 275 org/100 m³, y el más bajo fue el subsistema transición con 10 org/100 m³.



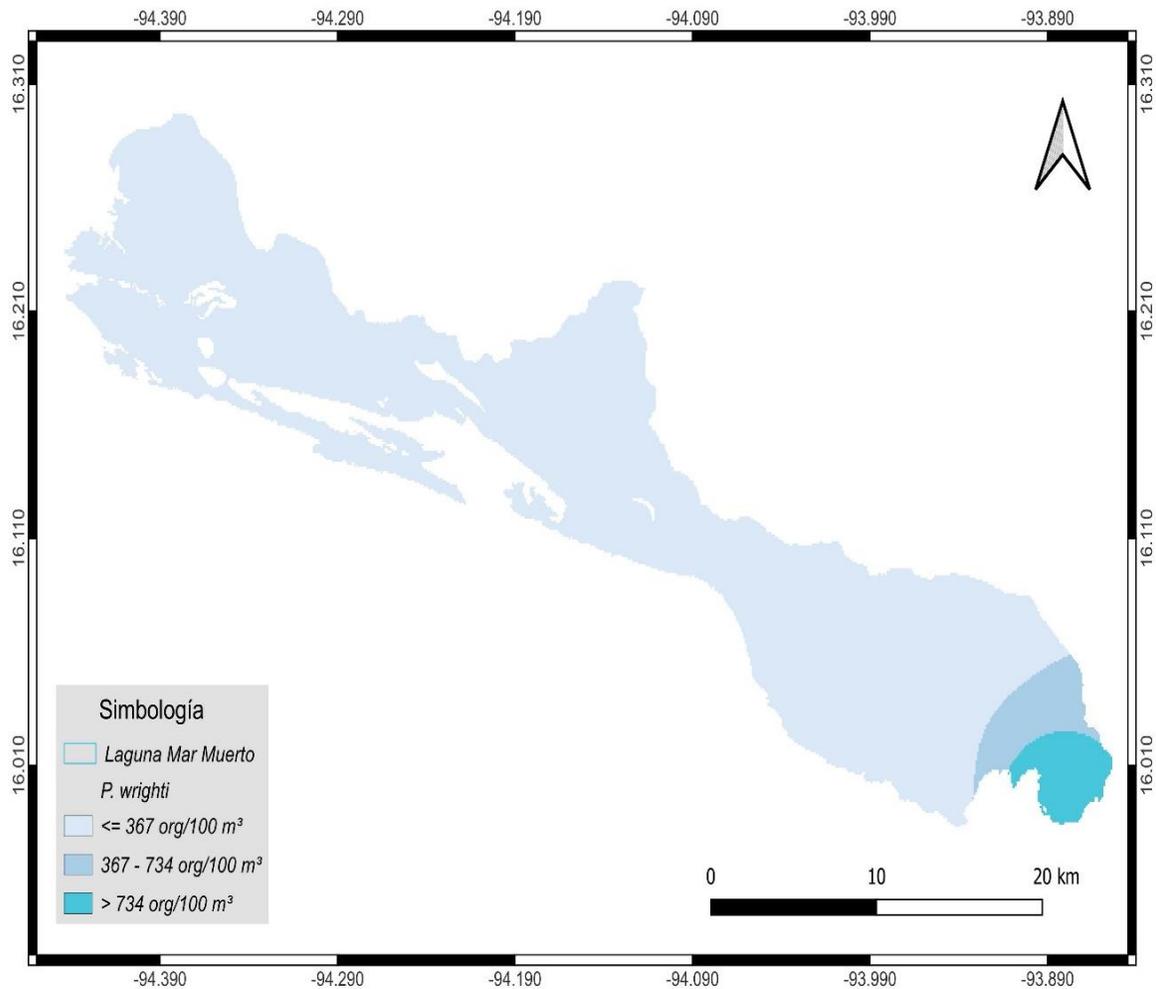
Mapa de distribución de la especie *T. discuadata* en la laguna Mar Muerto, México.

Para la especie *E. acutifrons* tuvo una abundancia total de 25 org/100 m³. El valor más alto fue el marino con 5 org/100 m³.



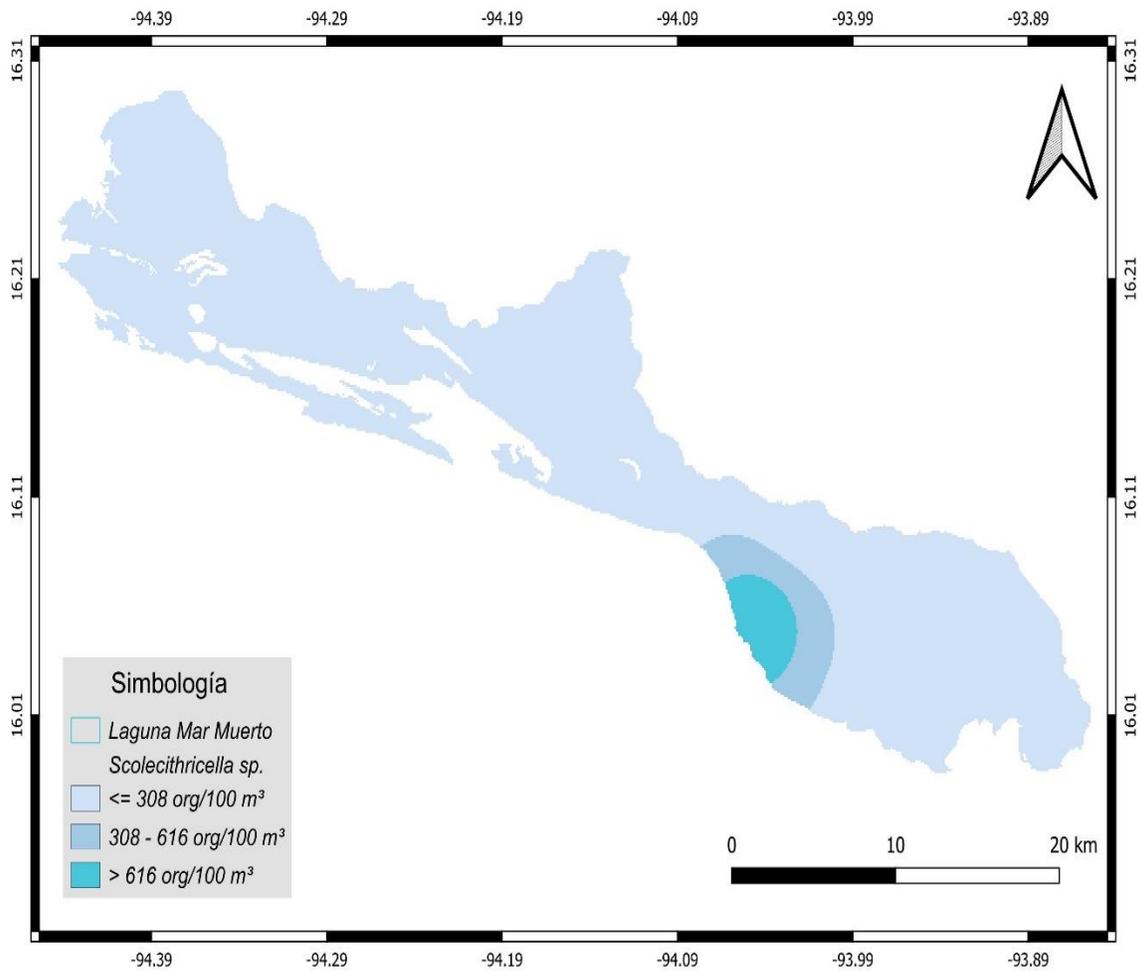
Mapa de distribución de la especie *E. acutifrons* en la laguna Mar Muerto, México.

La especie *P. wrighti* tuvo una abundancia total de 1 117 org/100 m³. El valor promedio de los tres subsistemas fue 228 org/100 m³. El valor más alto fue el marino con 220 org/100 m³, y el valor más bajo fue transición con 0 org/100 m³.



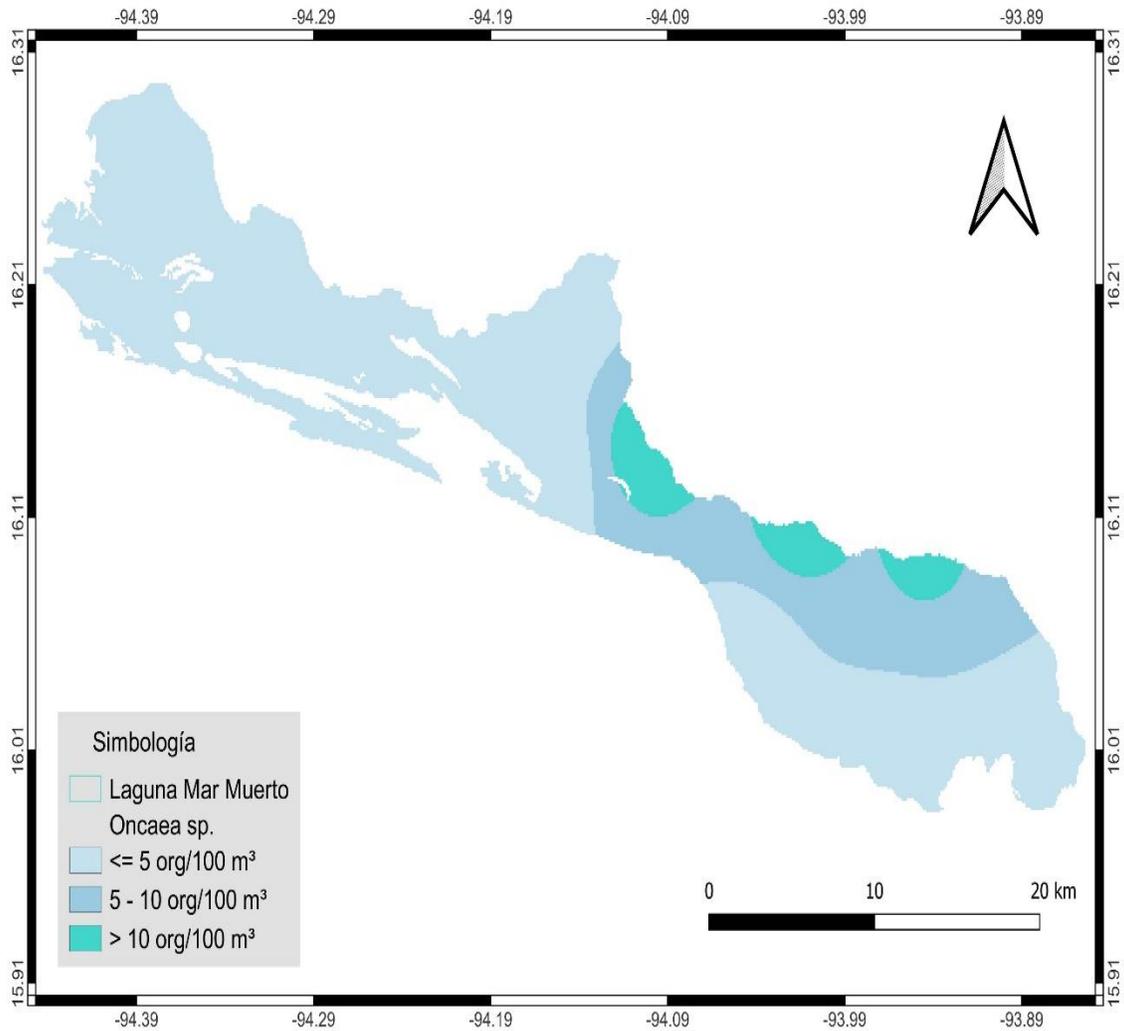
Mapa de distribución de *P. wrighti*, en la laguna Mar Muerto, México.

Para el género *Scolecithricella* sp., tuvo una abundancia total de 924 org/100 m³. El valor promedio fue en el marino con 185 org/100 m³.



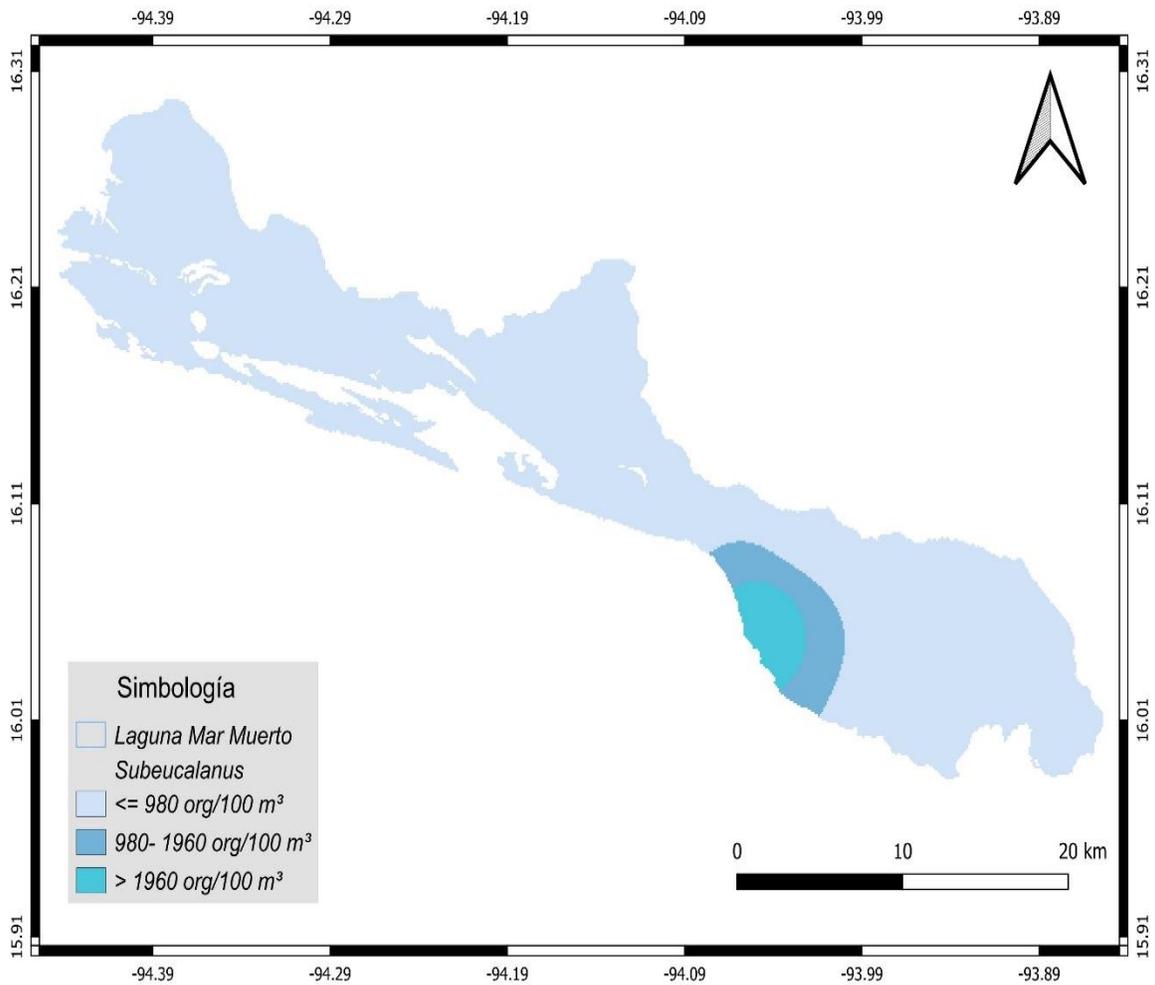
Mapa de distribución de *Scolecithricella* sp. en la laguna Mar Muerto, México.

Para el género *Oncaea* sp., tuvo una abundancia total de 41 org/100 m³. El valor promedio de los subsistemas fue 9 org/100 m³. El más alto fue el marino con 5 org/100 m³, y el valor más bajo fue en el subsistema eurihalino con 0 org/100 m³.



Mapa de distribución de *Oncaea* sp. en la laguna Mar Muerto, México.

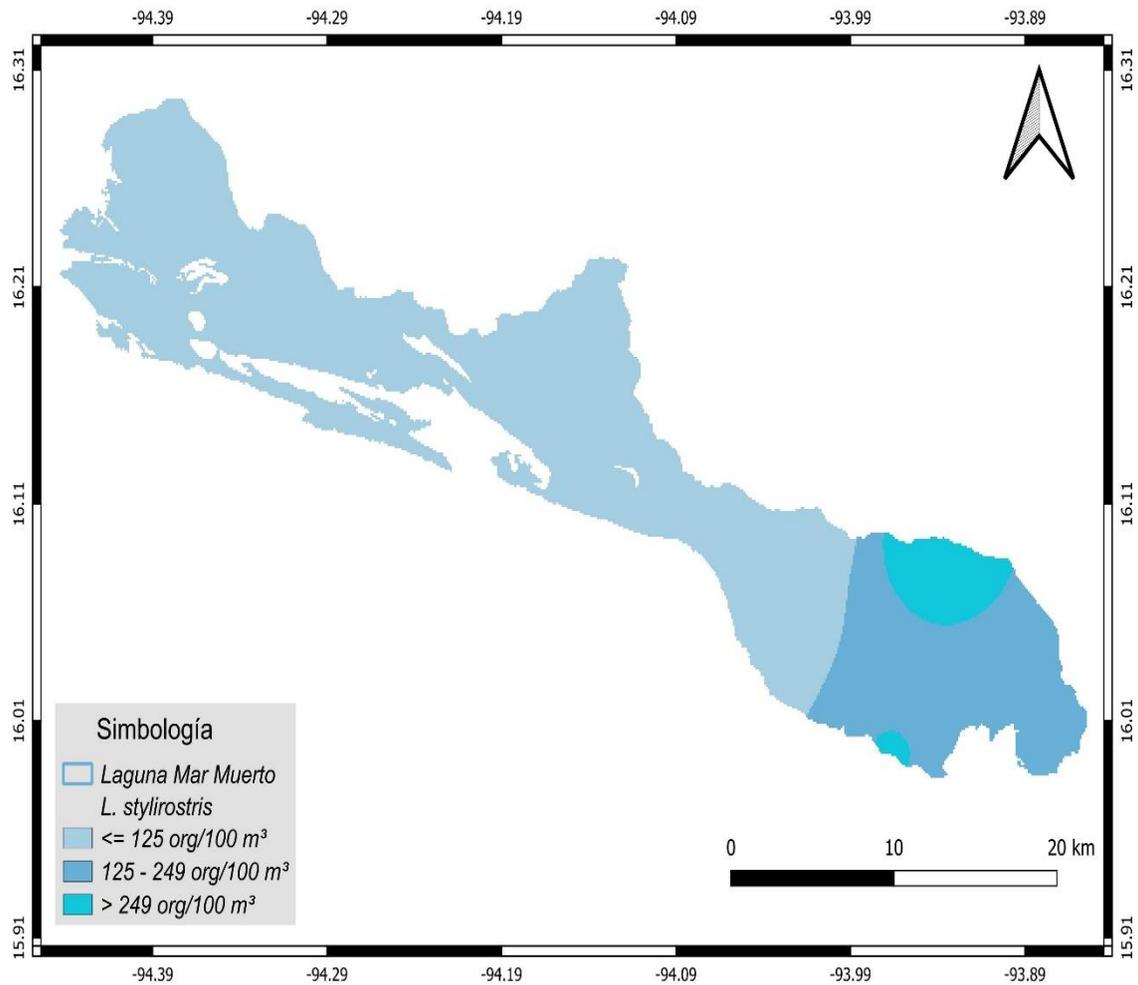
Para el género *Subeucalanus* tuvo una abundancia total de 2 992 org/100 m³. El valor más alto fue el subsistema marino con 598 org/100 m³.



Mapa de distribución del género *Subeucalanus* en la laguna Mar Muerto, México.

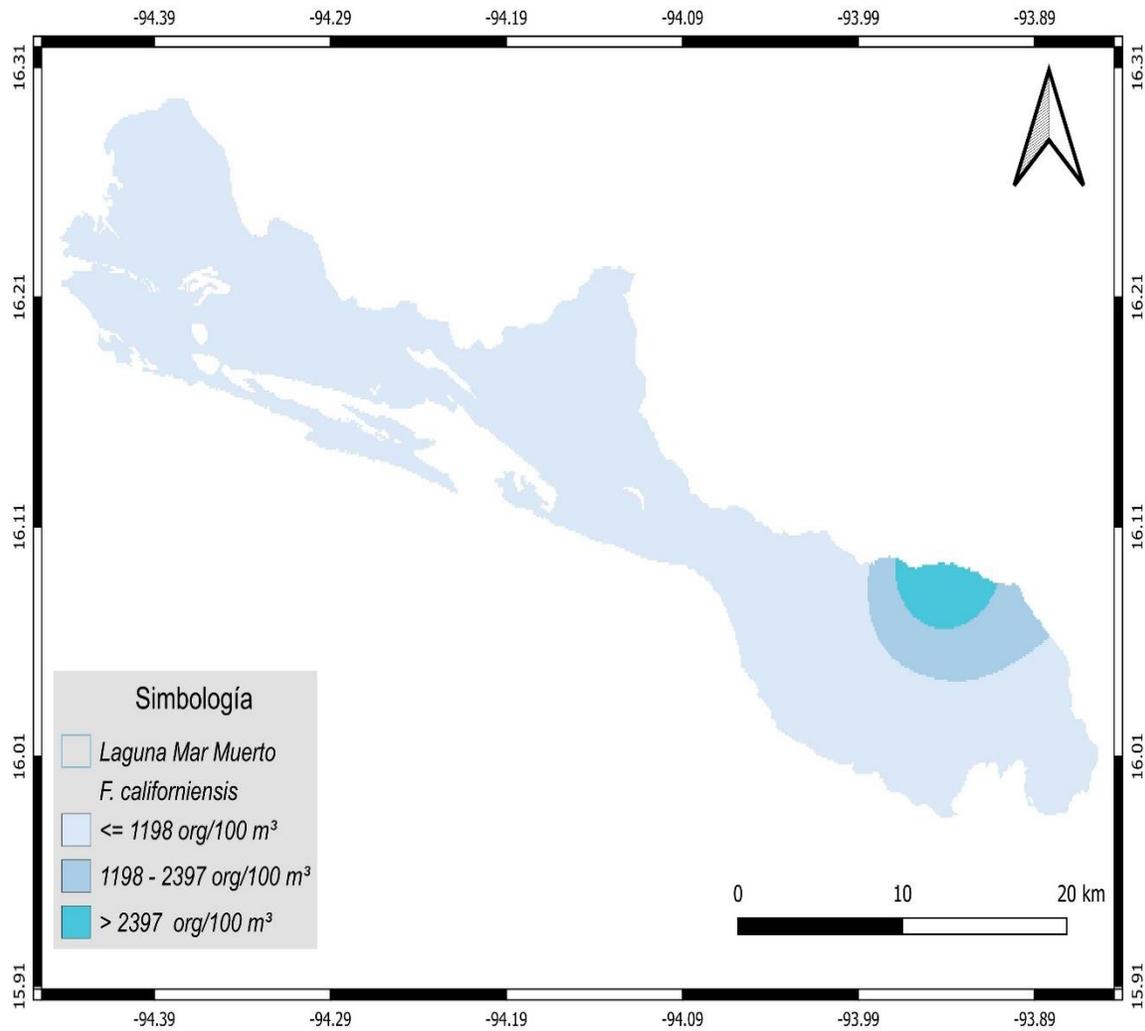
Decápodos: Se presenta a *L. stylirostris* y *F. californiensis* con los valores más alto y bajos en los tres subsistemas.

La especie *L. stylirostris* tuvo una abundancia total de 907 org/100 m³. El valor promedio en los tres subsistemas fue 187 org/100 m³. El valor más alto fue marino con 167 org/100 m³, y el valor más bajo fue eurihalino con 7 org/100 m³.



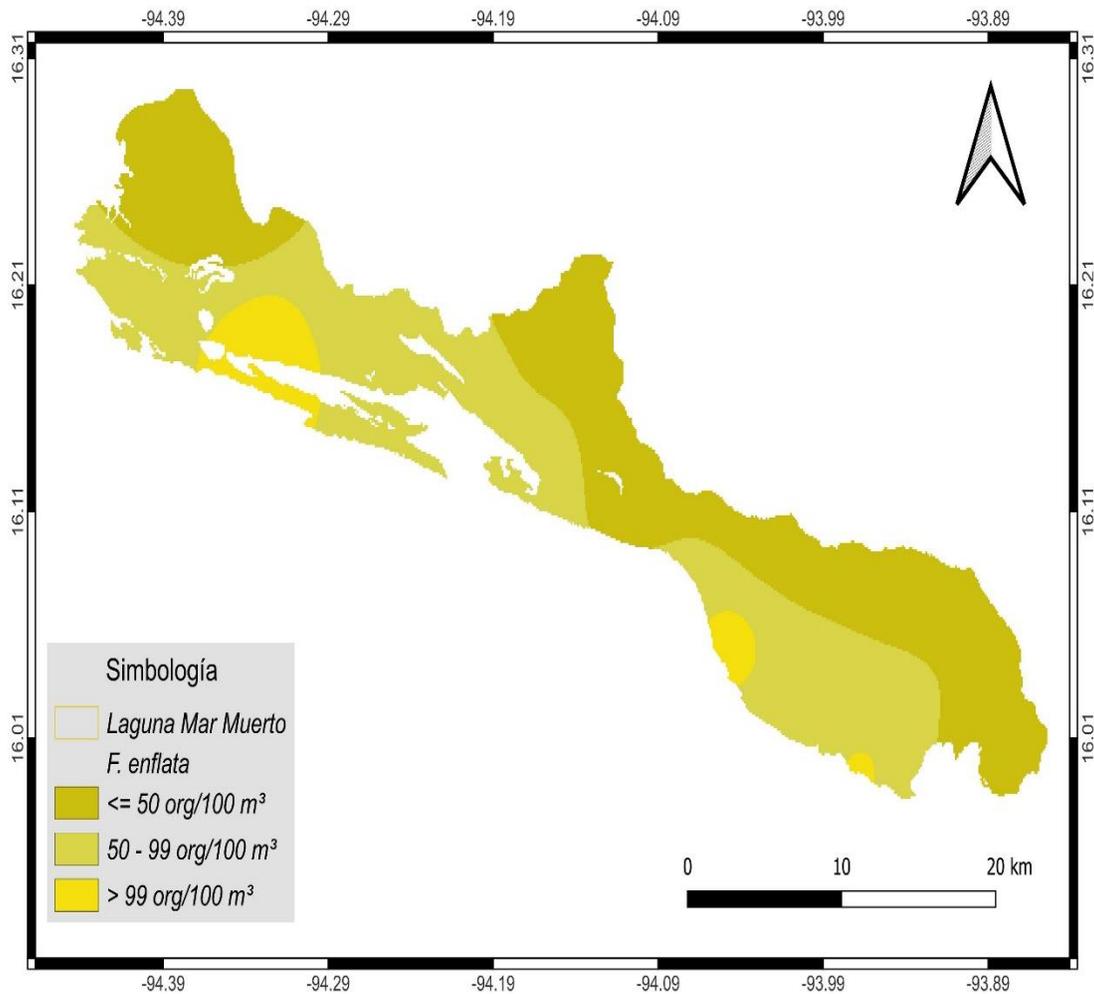
Mapa de distribución de la especie *L. stylirostris* en la laguna Mar Muerto, México.

Para la especie *F. californiensis* tuvo una abundancia total de 3 595 org/100 m³. El valor promedio de los tres subsistemas fue 775 org/100 m³. El valor más alto fue el marino con 748 org/100 m³, y el valor más bajo fue en eurihalino con 0 org/100 m³.



Mapa de distribución de la *F. californiensis* en la laguna Mar Muerto, México.

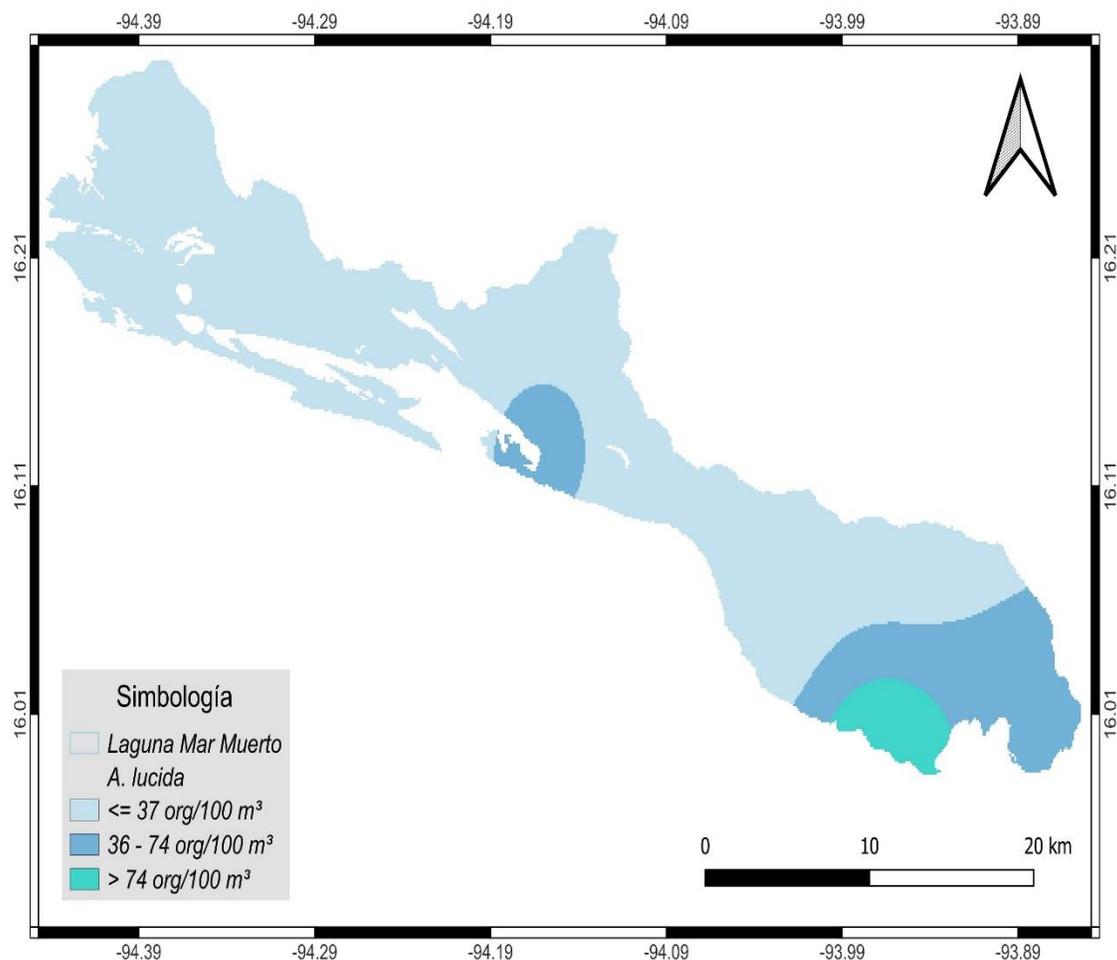
Quetognatos: La especie *F. enflata*, tuvo una abundancia total de 650 org/100 m³. El valor promedio de los tres subsistemas fue de 166 org/100 m³. El valor más alto fue en eurihalino con 68 org/100 m³, y el valor más bajo fue en transición con 44 org/100 m³.



Mapa de distribución de la especie *F. enflata* en la laguna Mar Muerto, México.

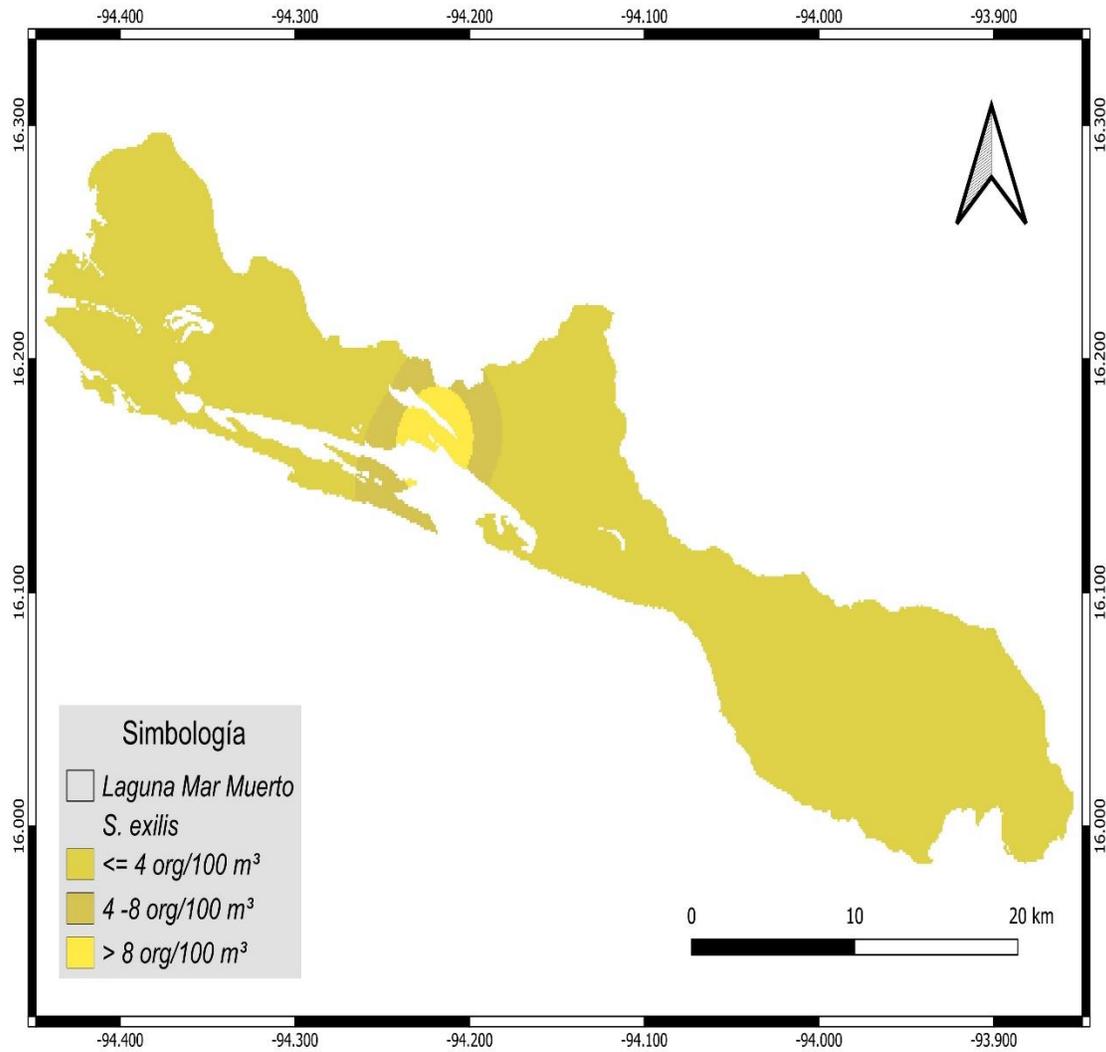
Peces: Se presentan a dos especies: *A. lucida*, *S. exilis*, el género *Oligoplites sp.*, y a cuatro familias: Engraulidae/H Gerreidae, Haemulidae y Kyphosidae/H, en cuál se reportan en huevos y larvas.

Para la especie *A. lucida* tuvo una abundancia total de 248 org/100 m³. El valor promedio en los tres subsistemas fue de 52 org/100 m³. El valor más alto fue el marino con 37 org/100 m³, y el valor más bajo fue el subsistema eurihalino con 0 org/100 m³.



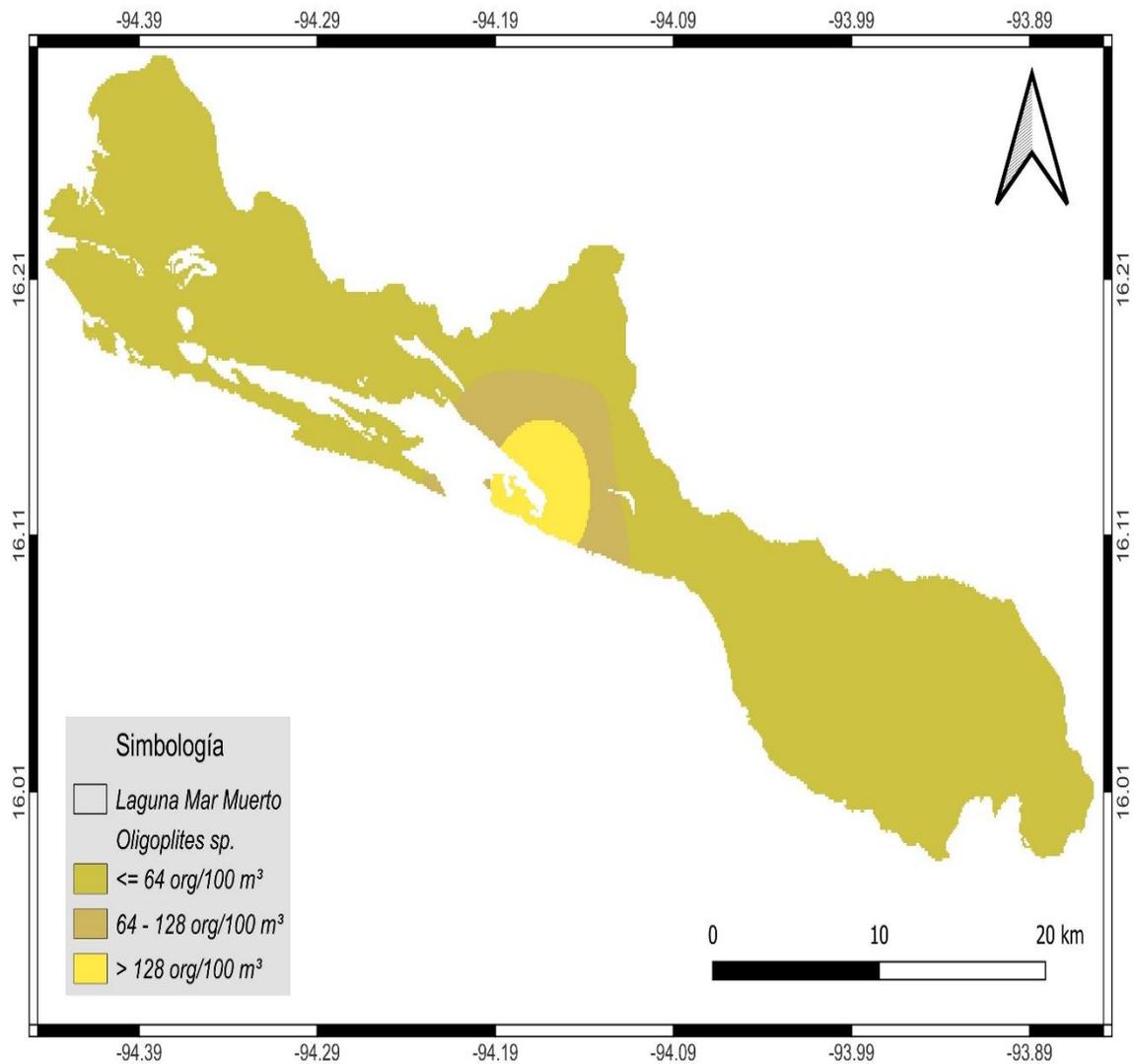
Mapa de distribución de la especie *A. lucida* en la laguna Mar Muerto, México.

La especie *S. exilis* tuvo una abundancia total de 13 org/100 m³. El valor más alto fue en transición con 3 org/100 m³.



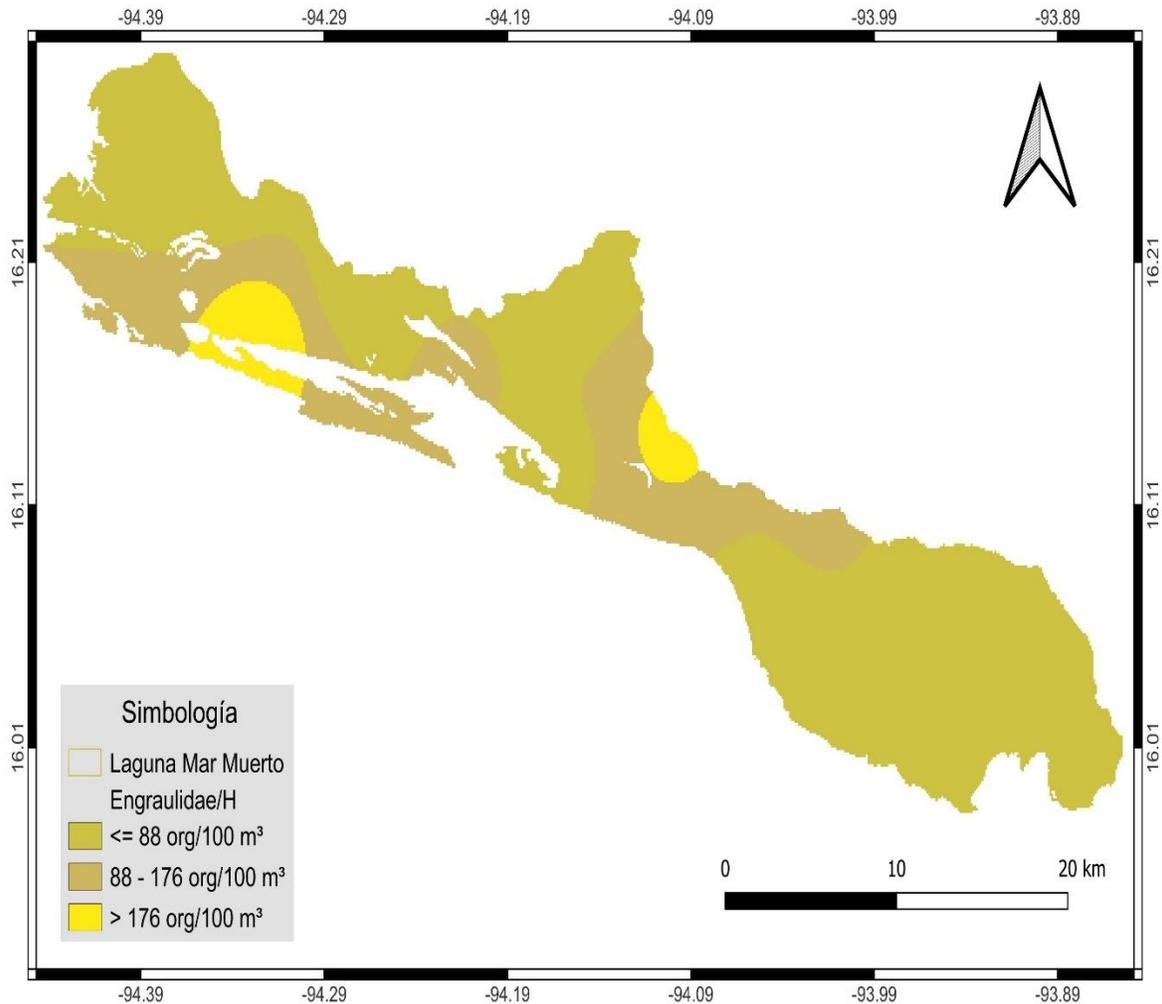
Mapa de distribución de la especie *S. exilis* en la laguna Mar Muerto, México

El género *Oligoplites* sp., tuvo una abundancia total de 340 org/100 m³. El valor promedio en los tres subsistemas fue 87 org/100 m³. El subsistema con el valor más alto fue el de transición con 56 org/100 m³, y el más bajo fue en marino con 11 org/100 m³.



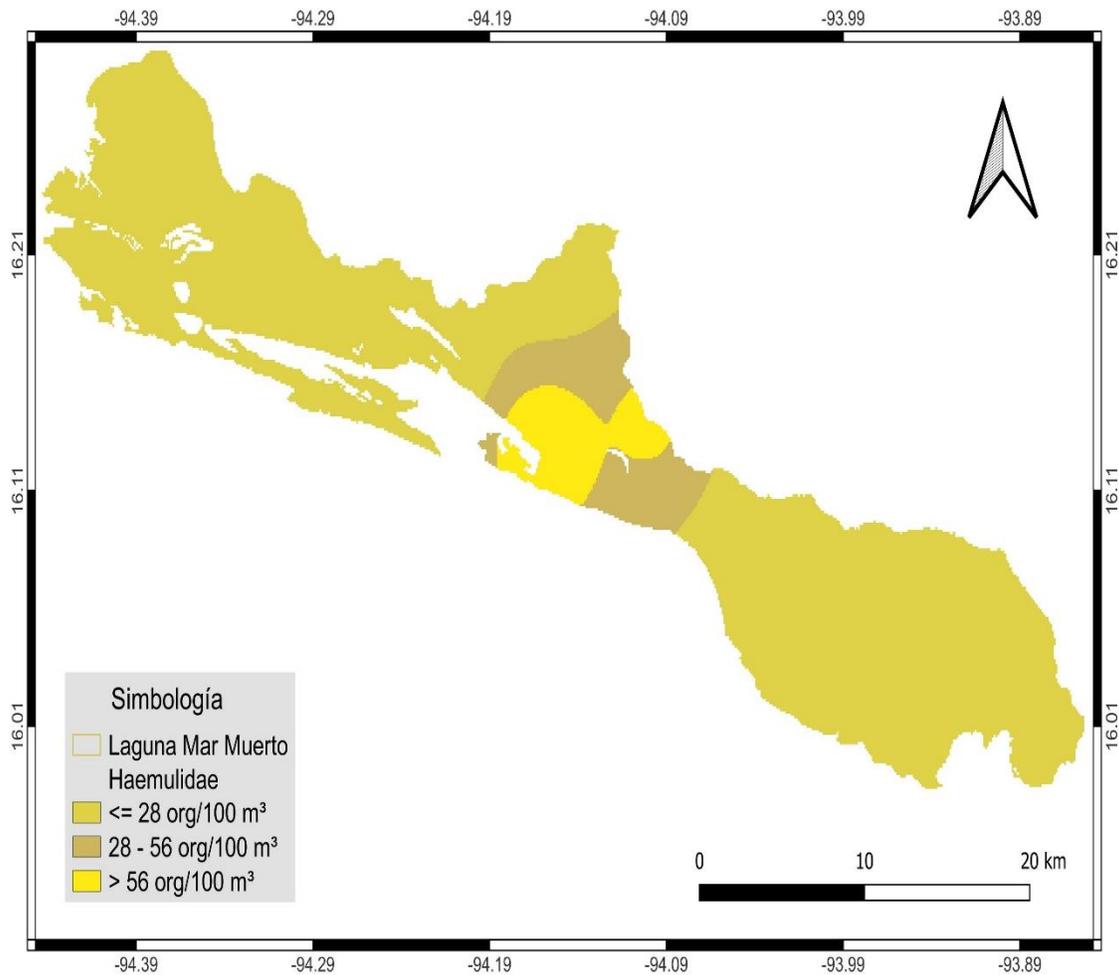
Mapa de distribución del género *Oligoplites* sp., en la laguna Mar Muerto, México.

Para los huevos de la Familia (Engraulidae/H) tuvo una abundancia total de 815 org/100 m³. El valor promedio en los tres subsistemas fue 220 org/100 m³. El valor más alto fue en transición con 104 org/100 m³, y el valor más bajo fue en marino con 25 org/100 m³.



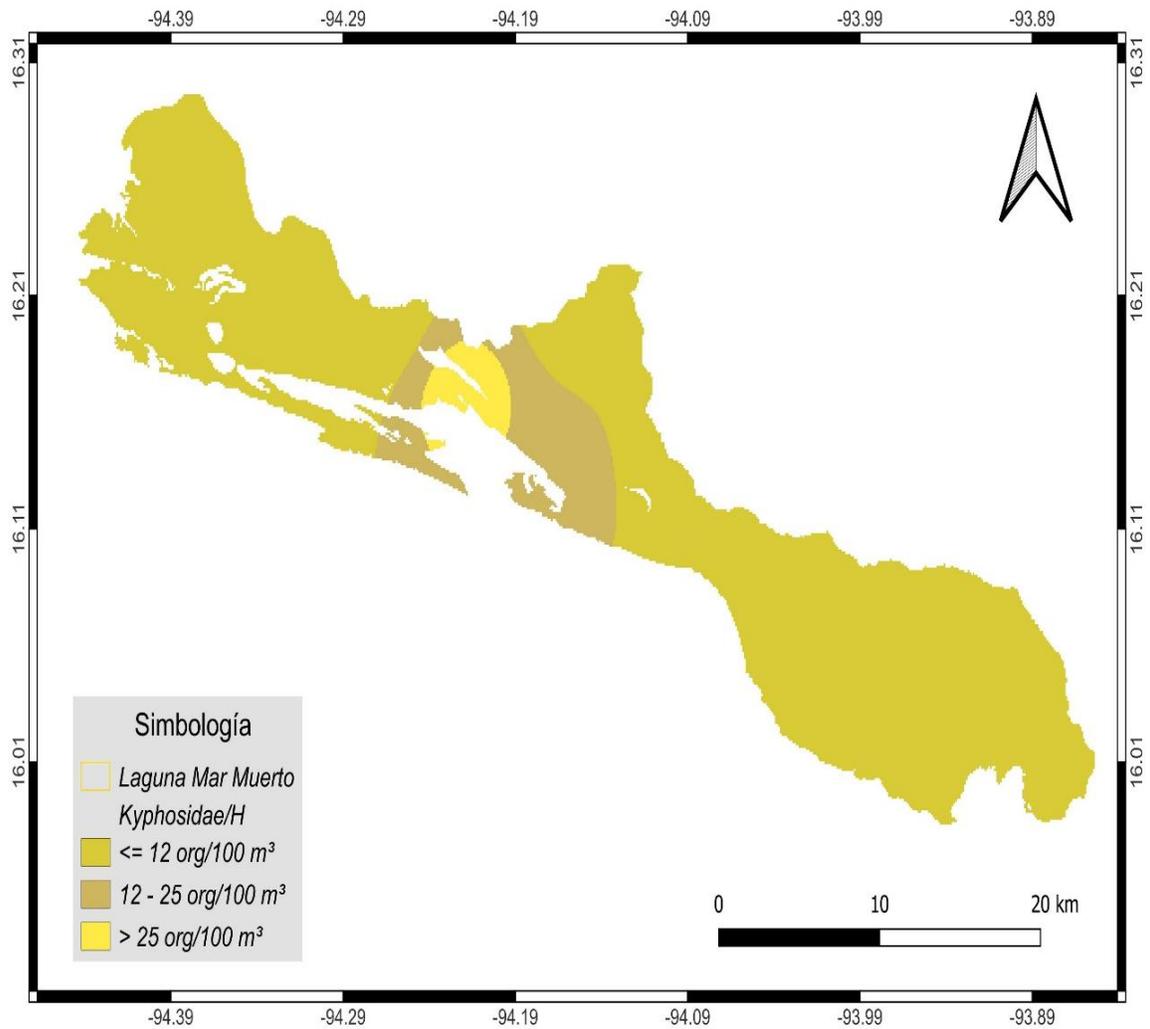
Mapa de distribución de los huevos de la familia Engraulidae/H en la laguna Mar Muerto, México.

Los huevos de la familia Haemulidae/H tuvo una abundancia total de 146 org/100 m³. El valor más alto fue en transición con 36 org/100 m³.



Mapa de distribución de los huevos de la familia Haemulidae/H en la laguna Mar Muerto, México.

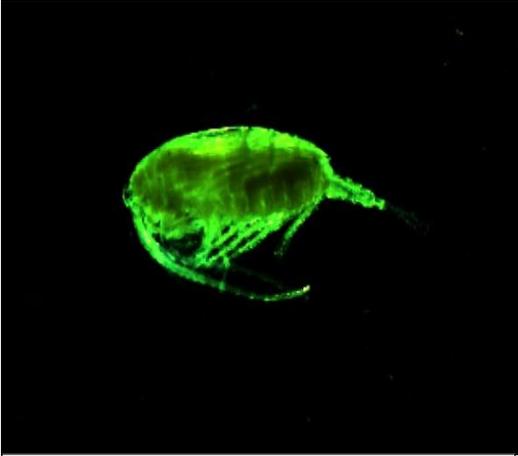
Para la Familia Kyphosidae tuvo una abundancia total de 61 org/100 m³. El valor más alto fue el de transición con 15 org/100 m³.



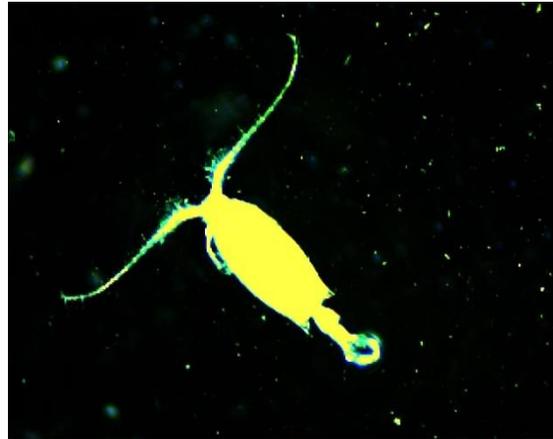
Mapa de distribución de los huevos de la familia Kyphosidae/H en la laguna Mar Muerto, México

Anexo II. Imágenes de algunas especies del zooplancton.

Copéodos



Labidocera acuta



Centropages furcatus

Decápodos

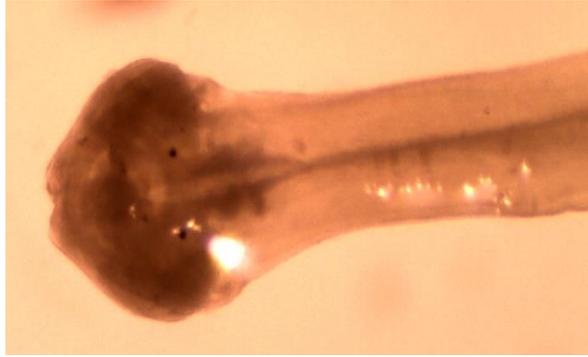


Litopenaeus vannamei



Callinectes

Quetognatos



Parasagitta euneritica

Peces



Carangidae/Huevos



Haemulidae



Anchoa lucida



Strongylura exilis

Anexo III. Distribución de los microplásticos con respecto a su formas y colores.

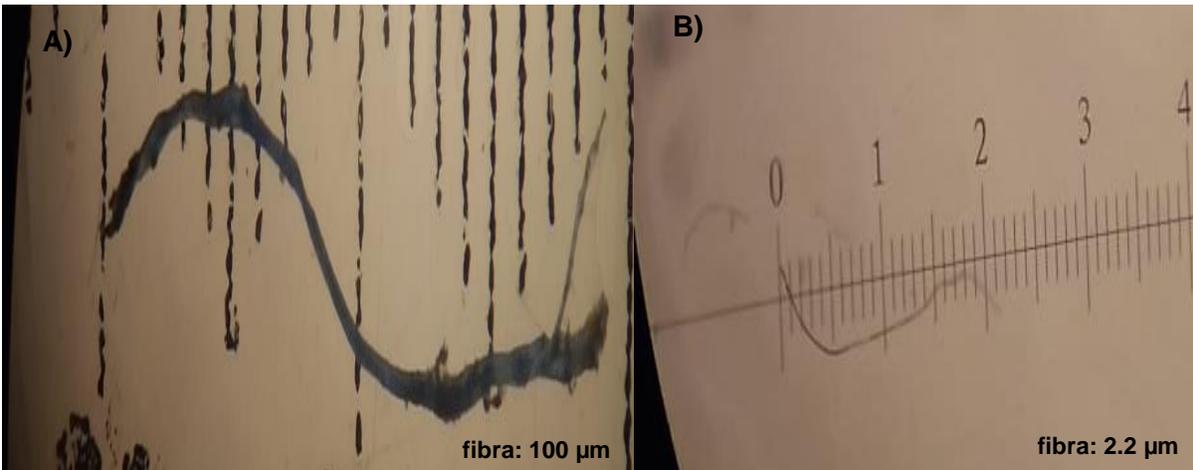
Estación	Forma			Colores										Total
	Fibra	Lámina	Gránulo	T	A	B	V	N	R	C	D	M	A M	
01/M1 y M2 240321	99			51	31	7		10						99
02/M1 y M2 240321	133			61	61			10						133
03/M1 y M2 240321	200	12		79	44			33	44			12		212
04/M1 y M2 240321	132	23		98	34			11	11					155
05/M1 y M2/240321														
06/M1 y M2 240321	1096			1014	47			23	12					1096
07/M1 y M2 240321		202	16	106	80		16				16			218
08/M1 y M2 240321	755	401		385	15	745	14							1156
09/M1 y M2 240321	225	29		128	99				13		14			254
10/M1 y M2 240321	280	26		102	153				51					306
11/M1 y M2 240323	104				23	58		12	11					104
12/M1 y M2 240321	63	97	14	74	25	25		12	12	25				173
Total														3 908

Tabla de las estaciones de muestreos de microplásticos, con respectivas muestras de 1 y 2 del mes de marzo, clasificándose en formas (fibra, Lámina y Gránulo), y colores (**T** = transparente, **A** = azul, **B** = blanco, **V** = verde, **N** = negro, **R** = rojo, **C** = café, **D** = dorado, **M** = morado y **AM** = amarillo), obteniendo un total de cada estación.

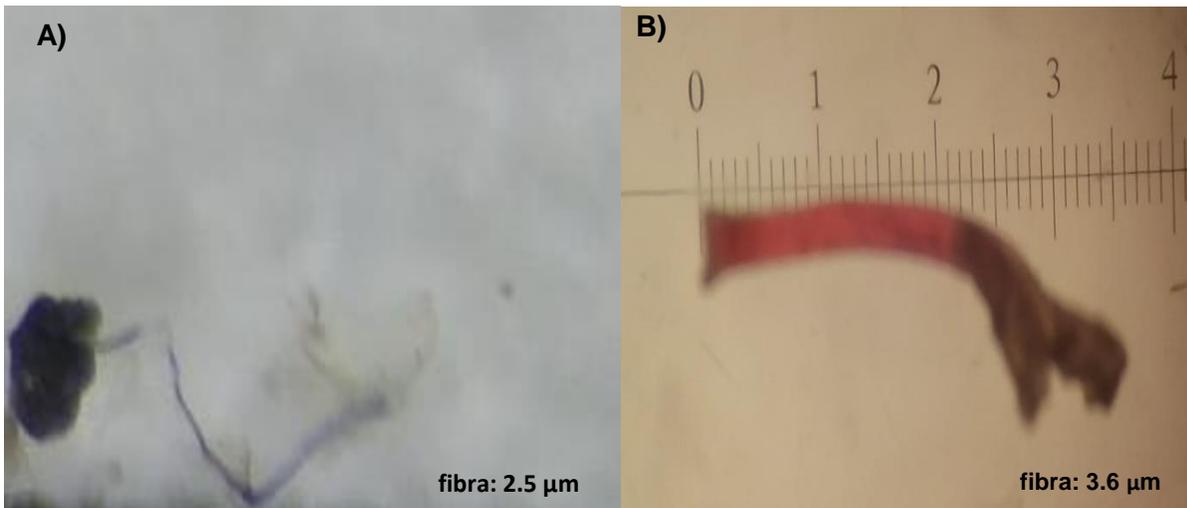
Estación	Forma			Colores										Total
	Fibra	Lámina	Gránulo	T	A	B	V	N	R	C	D	M	A M	
01/M1 y M2 240621	247	11		172	32	21		32						258
02/M1 y M2 240621	2 945			2415				434				96		2 945
03/M1 y M2 240621	327	44	15	200	112			44	15		15			386
04/M1 y M2 240621	515	7		22	483		5	7	2		3			522
05/M1 y M2/240621														
06/M1 y M2 240621	154	42	5	112	52	5		14			18			201
07/M1 y M2 240621	200	151	100	51	300	50			50					451
08/M1 y M2 230621	235				45	190								235
09/M1 y M2 230621	180	39		127	26	13		39					13	219
10/M1 y M2 230621	122	97		63	25	85		13	8	25				219
11/M1 y M2 230621	126	19		37	62				46					145
12/M1 y M2 230621	100	14	11	53	34	40								125
Total														5 706

Tabla de las estaciones de muestreos de microplásticos, con respectivas muestras de 1 y 2 del mes de junio, clasificándose en formas (fibra, Lámina y Gránulo), y colores (**T** = transparente, **A** = azul, **B** = blanco, **V** = verde, **N** = negro, **R** = rojo, **C** = café, **D** = dorado, **M** = morado y **AM** = amarillo), obteniendo un total de cada estación.

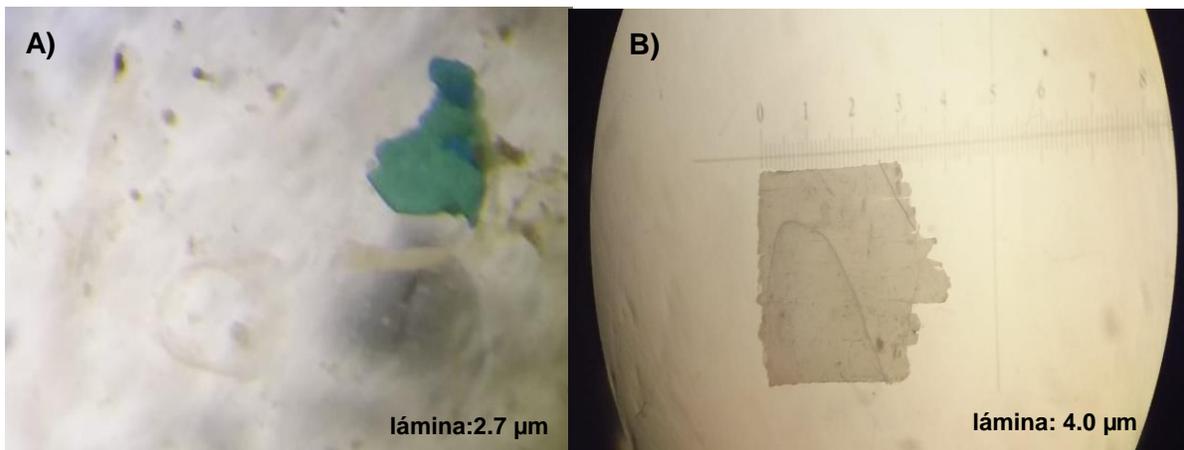
Anexo IV. Imágenes de los microplásticos (fibra, lámina y gránulo) en diferentes tamaños y colores.



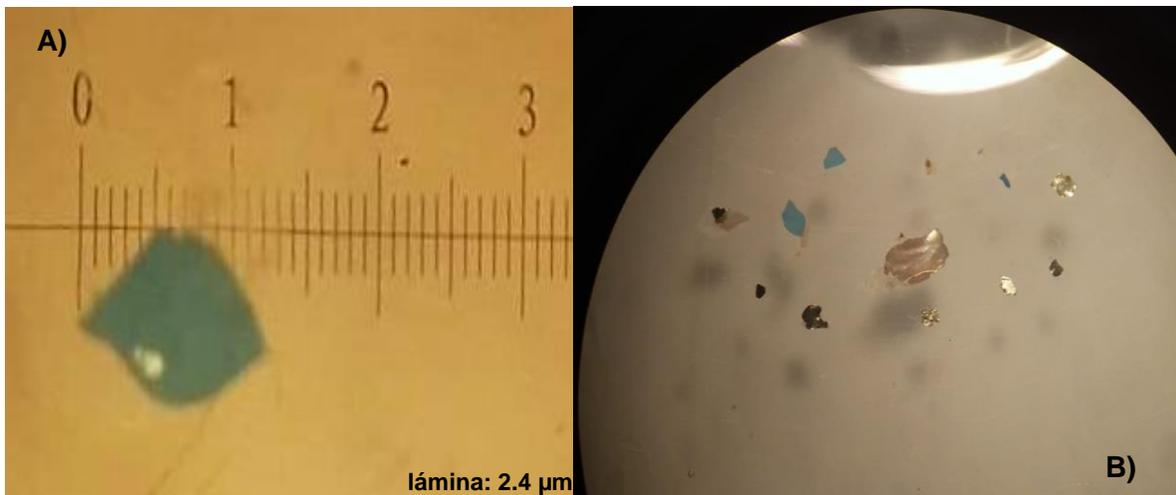
Imágenes de microplásticos en forma de fibras, **A)** color azul con 1.9 cm, siendo el más grande en la clasificación de fibras **B)** fibra de color azul con 2.2 μm , obtenidas en las muestras de zooplancton, en la laguna Mar Muerto, México.



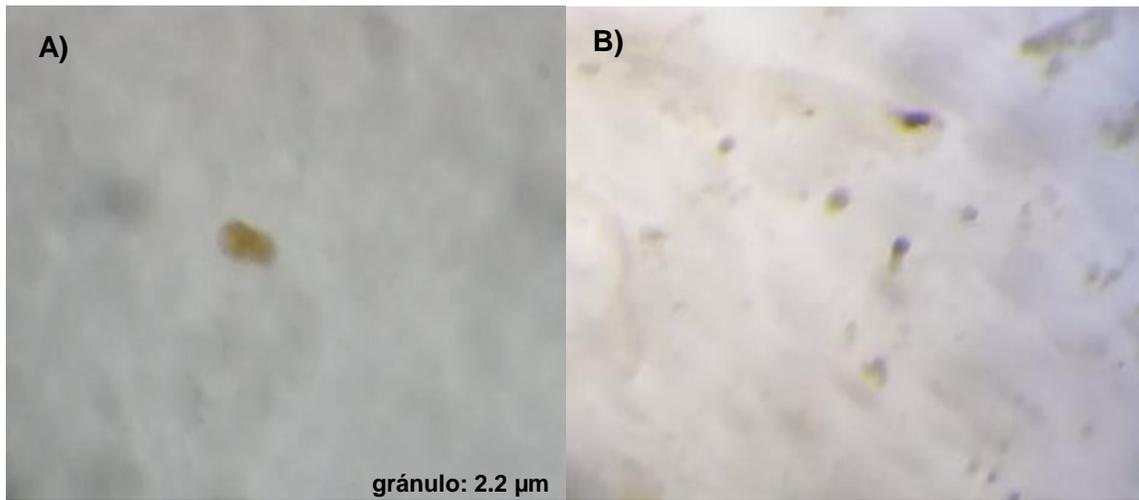
Imágenes de microplásticos en formas de fibras **A)** color azul, con 2.5 μm , **B)** color rojo y gruesas encontradas en las muestras de zooplancton en la laguna Mar Muerto, México.



Imágenes de microplásticos en forma de láminas **A)** color verde de 2.7 μm , **B)** color blanco de 4.0 μm , encontradas en las muestras de zooplancton en la laguna Mar Muerto, México.



Imágenes de microplásticos en forma de lámina **A)** color verde de 2.4 μm , **B)** diversidad de colores de las láminas encontradas en diferentes tamaños desde 5 μm hasta 50 μm , encontradas en las muestras de zooplancton de la laguna Mar Muerto, México.



Imágenes de microplásticos en forma de gránulos **A)** color dorado de 2.2 μm , **B)** variedad de tamaños de los gránulos desde 1 μm a 2.8 μm , encontradas en las muestras de zooplancton de la laguna Mar Muerto, México.