

**¿ES EL NEMERTINO *TETRASTEMMA FOZENSIS*
(GIBSON Y JUNOY, 1991) UN BUEN
BIOINDICADOR DE CONTAMINACIÓN?
ESTUDIO EN LAS RÍAS ALTAS GALLEGAS**

Máster Universitario en Restauración de Ecosistemas

Presentado por:

Elena Mercedes Moldes Allegue

Tutor académico:

Dr. Juan Junoy

En Madrid a 27 de enero de 2022

ÍNDICE

1	RESUMEN	4
1.1	ABSTRACT	5
2	INTRODUCCIÓN	6
3	OBJETIVOS	14
4	MATERIAL Y MÉTODOS	15
5	RESULTADOS	20
6	DISCUSIÓN	31
7	CONCLUSIONES	36
8	AGRADECIMIENTOS	37
9	BIBLIOGRAFÍA	38
10	ANEXOS	42

RESUMEN

Los bivalvos son buenos bioindicadores de contaminación en las rías debido a sus características, entre las cuales destacan el sedentarismo, la longevidad, la abundancia y la ingestión de partículas inorgánicas. La especie *Scrobicularia plana* (da Costa, 1778) ha sido utilizada en múltiples estudios como bioindicadora de la contaminación. En 1991, Gibson y Junoy, descubrieron en la cavidad del manto de este bivalvo el nemertino *Tetrastemma fozensis*, y fue en 1998, cuando los autores Thiel y Zubillaga estudiaron si la presencia o ausencia del nemertino estaba relacionada con la contaminación de metales pesados en las rías del País Vasco y Cantabria, pudiendo ser una nueva especie bioindicadora. Este estudio pretende comprobar una vez más si la especie *Tetrastemma fozensis* puede ser utilizada como una especie bioindicadora. Para ello se muestrearon doce rías gallegas, con un muestreo único debido a las restricciones COVID-19. Se recogieron 144 individuos de *Scrobicularia plana*, los cuales se introdujeron en un contenedor con agua salada y pasadas 48 horas se comprobó la presencia de los nemertinos. En total fueron encontrados 98 individuos de *Tetrastemma fozensis*. Además, se analizó la granulometría y la materia orgánica de las muestras de sedimento de cada uno de los puntos de muestreo. No se hallaron nemertinos en cuatro de las doce rías muestreadas, las cuales no estaban altamente contaminadas, por lo que no se puede concluir que la presencia o ausencia de los nemertinos esté relacionada con la contaminación por metales pesados, pudiendo estar relacionado con el ciclo vital de la especie.

Palabras clave:

Tetrastemma fozensis, *Scrobicularia plana*, bioindicadores, metales pesados, sedimentología.

ABSTRACT

The bivalves are good bio-indicators of pollution in the estuaries due to their particular characteristics, like sedentary lifestyle, longevity, abundance and inorganic particle ingestion. *Scrobicularia plana* had been studied by some scientifics as bioindicators of pollution. In 1991, Gibson & Junoy, discovered a nemertine in the mantle cavity of bivalves, *Tetrastemma fozensis*, and it was in 1998 when Thiel & Zubillaga studied whether the presence or absence of nemertine was related to the pollution of heavy metals in the estuaries of País Vasco and Cantabria, being this a new bioindicator species. This study is aimed to test once more whether the species of *Tetrastemma fozensis* can be used as a bioindicator species. To do that, we examined twelve galician estuaries, on a single test due to COVID-19 restrictions. 144 individues were collected and put in a container with seawater for 48 h and after that, the presence of nemertines was proven. On the whole 98 *Tetrastemma fozensis* were found. Furthermore, granulometric fractions and organic content of each area were analysed. There was not any nemertine in four out of the twelve sampled estuaries, which were not highly polluted, so we cannot jump to the conclusion that the presence or absence of nemertine are directly linked to the pollution because of the presence of heavy metals, it may be related to the life cycle of the species instead.

Key words.

Tetrastemma fozensis, *Scrobicularia plana*, bioindicator, heavy metals, sedimentology.

INTRODUCCIÓN

Cuando se mezclan el agua dulce y el agua salada en las rías, se produce un flujo y una acumulación de sedimentos, y con ello de metales pesados, entre los cuales destacan los oligoelementos como el cobre y el zinc, los cuales en altas concentraciones pueden resultar tóxicos, u otros metales como mercurio y cadmio, los cuales no tienen un papel biológico definido (Prego y Cobelo, 2003). Desde el punto de vista de la contaminación en las aguas, los metales más relevantes son el plomo, cadmio, mercurio, zinc, cobre, níquel y cromo. Los cuatro últimos son oligoelementos esenciales en los seres vivos, pero en altas concentraciones se vuelven tóxicos (Waykar y Deshmukh, 2012). El principal problema de los metales pesados es que no se destruyen, sino que se acumulan por mecanismos de adsorción fisicoquímicos y pasan a la cadena alimenticia, produciendo efectos graves en la salud humana que afectan al crecimiento, dañando el sistema nervioso y provocando tumores cancerígenos e incluso pueden llegar a causar la muerte (Ghrefat y Yusuf, 2006; Waykar y Deshmukh, 2012).

El origen de estos metales en el ciclo del agua puede ser tanto por procesos naturales, como es la erosión de las rocas, la actividad volcánica o los incendios forestales, como por origen antropogénico, debido a los vertidos o las descargas directas (Prego y Cobelo, 2003).

Cuando existe un desequilibrio en las aguas naturales, se refleja en las poblaciones afectando a las cadenas tróficas, ya que se eliminan los individuos más sensibles a favor de aquellos que son más tolerantes, que se terminan convirtiendo en dominantes. Es por ello por lo que las especies sésiles y sedentarias reflejan mejor las condiciones en un momento dado. Los principales bioindicadores son las macroalgas, los filtradores, los organismos detritívoros y las fanerógamas. En 1916, el científico Wilhelmi utilizó por primera vez un invertebrado marino como bioindicador de la contaminación descubriendo una de las principales herramientas para determinar la presencia de metales pesados, junto con el análisis fisicoquímico de las aguas y de los sedimentos (Planas, 1986; Carballeira et al., 2000).

Las principales características que debe tener un bioindicador son: tener una amplia distribución geográfica, soportar las fluctuaciones medioambientales, ser relativamente abundante durante todo el año, fácilmente identificables y de fácil muestreo (Carballeira et al., 2000).

Dentro de los bioindicadores se encuentra *Capitella capitata* (Fabricius, 1870), especie de poliqueto oportunista asociada a contaminación orgánica, ya que como Warren (1976) observó tiene las características citadas anteriormente, entre las cuales destaca su capacidad de reproducirse durante todo el año y en un amplio abanico de temperaturas. Además, es una especie de colonización temprana, con un rápido incremento de su población, tras lo cual viene un rápido declive. Tiene un desarrollo tanto pelágico como bentónico. Méndez et al. (1997) analizaron esta especie en dos condiciones diferentes de contaminación orgánica para ver como respondía, obteniendo como resultado que en el escenario con mayor cantidad de materia orgánica esta especie producía una mayor cantidad de individuos y biomasa, con un menor tamaño, reponiendo la población en la mitad de tiempo que en el escenario con unos niveles de materia orgánica estándar. Reish (1956) centró su estudio en las plantas de tratamiento de aguas residuales en Los Ángeles, donde se encontraron altas densidades poblacionales de esta especie.

Gillet et al. (2008) investigaron al poliqueto *Hediste diversicolor* (OF Müller, 1776), con respecto a la contaminación orgánica en las rías de Authie y del Sena, observando como en la ría más contaminada hay una mayor densidad poblacional.

Muchos de los estudios están centrados en los bivalvos, debido a sus características de sedentarismo, abundancia, longevidad, acumulación de metales pesados e ingestión de partículas inorgánicas. A todo ello se le suma una baja actividad de los sistemas enzimáticos que metabolicen los contaminantes orgánicos (Waykar y Deshmukh, 2012).

Schuster et al. (2020) relacionan los bioindicadores con la contaminación por la munición que termina arrojada en el mar. Se centran en el mejillón *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819) con respecto al trinitrotolueno (TNT) presente en dichas municiones. En el estudio exponen al bivalvo a altos niveles de toxicidad, observando una alta supervivencia debido al cierre de las valvas, además de una alta concentración de TNT en sus tejidos.

Arce (2019) comparó el estado de *Chione undatella* (GB Sowerby, 1835) en dos ambientes diferentes, un control en un ambiente no contaminado, y otro ambiente contaminado por metales pesados. En ambos medios la especie tuvo un ciclo continuo, además de que en el ambiente contaminado los individuos del estudio presentaron un aumento del tamaño, concluyendo que esta especie podría ser utilizada como

bioindicadora de la salud ambiental con respecto a la contaminación por los elementos potencialmente tóxicos.

Gago (2016) observó cómo podían afectar diferentes fármacos, como son el ibuprofeno, la carbamazepina y el diclofenaco a *Ruditapes philippinarum* (Adams y Reeve, 1850), más comúnmente conocida como almeja japonesa, observando si existían cambios en sus rutas metabólicas al verse expuestos a estos contaminantes emergentes en el sur de la península ibérica; obteniendo como resultado una reducción de su actividad metabólica tras la exposición a estos compuestos.

Ward et al. (2019) comprobaron el efecto de los bioindicadores con respecto a los microplásticos en el medio marino. Para ello utilizaron dos especies de bivalvos comerciales como son *Mytilus edulis* (Linnaeus, 1758), comúnmente conocido como mejillón común y *Crassostrea virginica* (Gmelin, 1791), cuyo nombre común es ostión de Virginia, en un ambiente con microesferas de poliestireno de varios tamaños, así como microfibras de nailon, analizando las heces de ambas especies. Como resultado obtuvieron que depende del tipo de características físicas del elemento, ya que las microfibras independientemente del tamaño sí fueron ingeridas. Concluyeron que ambas especies no son buenas bioindicadoras de contaminación por microplásticos en el medioambiente.

Zuloaga et al. (2009) expusieron en India a hidrocarburos aromáticos a tres especies de bivalvos intermareales, *Meretrix meretrix* (Linnaeus, 1758), *Austromacoma birmanica* (Philippi, 1849) y *Hiatula diplos* (Linnaeus, 1771), observando como esta última especie mostró altos niveles de hidrocarburos en sus tejidos en comparación con las otras dos, siendo un posible indicador sensible a estas trazas.

No solo se encuentran bivalvos bioindicadores en medios marinos, sino también en medios dulceacuícolas como observaron Waykar y Deshmukh (2012) en su estudio sobre la bioacumulación de los metales plomo, arsénico y zinc en dos especies de bivalvos: *Lamellidens corrianus* (Lea, 1834) y *Lamellidens marginalis* (Lamarck, 1819). Aquí comprobaron como la primera especie era tolerante a altas concentraciones de plomo y de arsénico, y la segunda a altas concentraciones de zinc, llegando a la conclusión de que se pueden utilizar como especies bioindicadoras en ecosistemas dulceacuícolas para dichos contaminantes.

Carballeira et al. (2000) en su estudio utilizaron varias especies como bioindicadoras, entre las cuales destacan *Cerastoderma edule* (Linnaeus, 1758), *Hediste diversicolor* y *Scrobicularia plana*, siendo esta última la especie que dio como resultado una mayor concentración de metales pesados.

Scrobicularia plana, o almeja de perro es un molusco bivalvo de la familia Semelidae (Santos et al., 2011). Es una especie eurihalina, que habita en fondos arenosos a fangosos, con preferencia por las zonas fangosas evitando los fondos más gruesos y móviles que le impiden el movimiento de sus sifones. Se puede encontrar enterrada en el sustrato hasta 20 cm, tanto en áreas del intermareal, con periodos de emersión, como en zonas del submareal, hasta 5.5 m de profundidad (Sola, 1994). Debido a la forma de estrella que dejan sus sifones en la superficie del sedimento se puede localizar visualmente (Figura 1) (Santos et al., 2011).



Figura 1. Marcas estrelladas que deja en la superficie del sustrato los sifones de *Scrobicularia plana*. Imagen recogida en el muestreo de la ría de Betanzos.

Scrobicularia plana se distribuye a lo largo de la costa atlántica desde Noruega hasta Senegal y el mar Mediterráneo. Puede llegar a soportar diferentes salinidades cerrando sus valvas hasta que se retomen unas condiciones más favorables. Es por ello por lo que se le considera parte de la fauna propia de aguas marinas y salobres (Sola, 1994).

En lo referido a su ciclo vital, es una especie dioica, con un hermafroditismo relativamente frecuente, y como la mayoría de los bivalvos liberan sus gametos al agua,

donde se produce la fecundación y el desarrollo embrionario y larvario. Su ciclo vital tiene dos fases: una fase pelágica, en la cual las larvas nadan libremente en la columna de agua, alimentándose de plancton, que puede durar desde días a meses; y otra fase bentónica, tras la metamorfosis, en la cual las larvas se asientan en el sustrato y comienzan a crecer (Santos et al., 2011).

Posee una proporción de sexos 1:1, llegando a encontrarse individuos con los dos tipos de gametos durante todo el año salvo, en invierno. El número máximo de individuos con ambos gametos se alcanza en los periodos de mayor actividad sexual, coincidiendo con el mes de marzo. Esto es común en muchos bivalvos gonocóricos como por ejemplo *Mytilus edulis* (Linnaeus, 1758) o *Mya arenaria* (Linnaeus, 1758) (Sola, 1994).

Scrobicularia plana es sedentívoro superficial selectivo, el cual presenta casi el 100% de eficacia en la filtración de partículas de pequeño tamaño, comprendidas entre 4-40 μm . En marea alta también puede actuar como suspensívoro (Sola, 1994) (Figura 2). Debido a estas características, es considerado un buen bioindicador de los metales pesados (Mouneyrac et al., 2008).



Figura 2. *Scrobicularia plana*. A: ejemplar mostrando el pie. B: ejemplar mostrando sus largos sifones.

Es a través de este proceso de alimentación por el cual los metales pesados entran dentro de la cadena alimenticia, ya que *Scrobicularia plana* es una presa de animales como aves limícolas, cangrejos y peces bentónicos. Además, es una especie de gran valor económico en el sur de Portugal (Mouneyrac et al., 2008; Santos et al., 2011).

Como observaron Ruiz et al. (1994), la densidad poblacional de este bivalvo ha disminuido a lo largo de las últimas décadas, barajándose diversos motivos entre los cuales destaca la contaminación de las rías. Gibson y Junoy (1991), descubrieron en la

cavidad paleal de *S. plana* una nueva especie de nemertino, que recibió el nombre de la ría de Foz (Lugo) donde fue encontrada *Tetrastemma fozensis* (Figura 3).

La presencia de este nemertino en el interior de *S. plana* no es un hecho insólito, ya que posteriormente ha sido encontrado en otras localidades del Cantábrico (Thiel y Zubillaga, 1998; García-Pérez y Anadón, 2004) y del litoral atlántico gallego (Herrera-Bachiller, 2016).

Thiel y Zubillaga (1998) relacionaron la presencia del nemertino en las distintas zonas estudiadas con el grado de contaminación de los sedimentos, señalando que *T. fozensis* podría ser un organismo bioindicador. Confirmar esta propuesta es precisamente el objetivo de este TFM por lo que se introducirá al lector en el mundo de los nemertinos.

Los nemertinos son un filo de invertebrados fundamentalmente marinos, existiendo unas pocas especies de agua dulce y terrestres. Suelen tener tamaños comprendidos entre pocos mm a varios metros, llegando a alcanzar los 30 m de longitud en la especie *Lineus longissimus* (Gunnerus, 1770). Los nemertinos habitan desde los trópicos a los polos, y desde las zonas intersticiales a los fondos marinos. Los nemertinos son animales relativamente lentos, moviéndose mediante cilios o contracciones peristálticas de su musculatura (Thiel y Kruse, 2001; Thiel y Norenburg, 2009).

Todos los nemertinos tienen una probóscide eversible, la cual utilizan para capturar presas o para huir. La clase Hoplonemertea, a la que pertenece *T. fozensis*, posee un estilete en la probóscide, el cual le permite pinchar el exoesqueleto de su presa, normalmente pequeños crustáceos (Thiel y Kruse, 2001).

En cuanto al estilo de vida de los nemertinos se encuentran individuos desde parásitos a comensales. Un ejemplo de nemertinos parásitos son las especies del género *Carcinonemertes*, las cuales se alimentan de los huevos de sus hospedadores, los crustáceos. También entran dentro de esta categoría la especie *Uchidana parasita* (Iwata, 1967) que parasita *Maetra chinensis* (Philippi, 1846) y se alimenta de sus branquias (Gibson y Junoy, 1991), o *Gononemertes parasita* (Bergendal, 1900) habitante del atrio de los tunicados (Moretto y Scelzo, 2004). Como ejemplo de nemertinos comensales se encuentran *Tetrastemma vitiferum* (Büger, 1904) la cual habita dentro de las ascidias (Junoy y Herrera-Bachiller, 2009), o las especies del género *Malacobdella*, comensales de la cavidad del manto de bivalvos. Dentro de este género cabe destacar la especie *Malacobdella arrokeana* (Ivanov et al., 2002) endocomensal del bivalvo *Panopea*

abbreviata (Valenciennes, 1839) (Moretto y Scelzo, 2004). Otras especies de nemertinos también pueden alimentarse de los parásitos de sus hospedadores, como es el caso del nemertino en el que se basa este estudio, *Tetrastemma fozensis*, el cual se alimenta de los copépodos que parasitan el interior de su hospedador (Thiel y Kruse, 2001).

Los autores Gibson y Junoy (1991) mencionados anteriormente, descubrieron la especie *Tetrastemma fozensis* perteneciente al filo Nemertea, clase Hoplonemertea, orden Monostilífera, género *Tetrastemma* (Figura 3), en sus muestreos durante los meses de julio de 1989 a enero de 1990. Antes de fijar los nemertinos, los examinaron en vivo, siendo un total de 26 individuos examinados histológicamente. Como resultados de su estudio obtuvieron un análisis exhaustivo de esta especie, determinando que es un nemertino monoestilífero pequeño y delgado generalmente. Tiene una musculatura en su pared corporal la cual no está muy desarrollada, con un rincocelo que se extiende hasta casi el extremo posterior del cuerpo, y una probóscide poco desarrollada. En lo referido a su sistema nervioso y sensorial, tiene unos órganos sensoriales cerebrales pequeños, con unas glándulas cefálicas bien desarrolladas, y un sistema nervioso sin neurocorda ni tampoco posee nervios laterales. En cuanto a su sistema excretor se encuentra confinado en la región del intestino anterior, con solo unos pocos nefridioporos y un ciego intestinal presente. *Tetrastemma fozensis* tiene sexos separados, no hallándose evidencias de gonoductos en los individuos que encontraron.



Figura 3. Imagen de *Tetrastemma fozensis* y su hospedador, el bivalvo *Scrobicularia plana*.

Como se ha dicho anteriormente, Thiel y Zubillaga (1998) estudiaron si la contaminación por metales pesados en los estuarios del País Vasco y Cantabria afectaba a la presencia o ausencia de *Tetrastemma fozensis*. Para ello muestrearon seis rías, cinco

de ellas durante los meses de marzo y septiembre de 1994, y una de ellas en intervalos de 6 a 10 semanas entre los meses de marzo de 1994 y febrero de 1995. De cada ría recogieron entre 41 y 72 muestras de *Scrobicularia plana*, y tras esperar 72 horas obtuvieron datos de los nemertinos.

Como resultados de su estudio, observaron que entre los meses de marzo a septiembre se producía una disminución de los nemertinos presentes en los bivalvos para cuatro de los seis estuarios, y para uno de estos cuatro estuarios, a pesar de esta disminución, en el mes de febrero existía un incremento. Además, para el estuario de Hendaya demostraron una relación significativa entre el tamaño de *S. plana* y el número de nemertinos/bivalvo.

Plantearon una relación entre la presencia o la ausencia del nemertino según la contaminación existente en el estuario, ya que en la única ría donde no encontraron *Tetrastemma fozensis* fue en la ría de Bilbao, la cual tiene altas concentraciones de metales pesados en el sedimento. Proponen que *T. fozensis* puede ser un buen bioindicador de la contaminación en las rías, debido a sus características, entre las cuales destacan la presencia de este en un hábitat relativamente persistente en el tiempo, su pequeño tamaño que le hace más sensible a la contaminación y su estilo de vida que le coloca en una situación entre la meiofauna de vida corta y la macrofauna de vida larga, además de ser fácilmente muestreable y monitorizable en el tiempo.

García-Pérez y Anadón (2004) señalan que la reproducción de esta especie de nemertino sigue un modelo de semelparidad con una estacionalidad marcada, debido a la reducción del tamaño de los individuos en invierno y el aumento durante la primavera, coincidiendo con el inicio de la madurez sexual. En los meses de junio y agosto obtuvieron unos valores más bajos de abundancia coincidiendo con la etapa de mayor esfuerzo reproductivo, ya que es cuando se producen los gametos y el desove. Estos autores también proponen diversas razones a este modelo de reproducción entre las cuales destacan la disponibilidad de presas, los copépodos, la supervivencia de los descendientes durante los meses de primavera y verano, o su sensibilidad a la disminución del oxígeno disuelto en agua, el cual disminuye en los meses de verano por el aumento de la temperatura del agua y aumenta en otoño, lo que implicaría restaurar las condiciones favorables para que los juveniles sobrevivan.

OBJETIVOS

En este trabajo se pretende comprobar si la hipótesis de Thiel y Zubillaga (1998) es cierta, donde se indica que la especie *Tetrastemma fozensis* hospedadora de *Scrobicularia plana* es un bioindicador de la contaminación marina, localizándose en las Rías Altas gallegas. Esto se desglosa en los siguientes objetivos específicos:

- Estudio de la distribución y la abundancia de la especie *Scrobicularia plana* en las Rías Altas gallegas.
- Estudio de la abundancia y la distribución de la especie *Tetrastemma fozensis* en las Rías Altas gallegas.
- Estudio de los sedimentos de las Rías Altas.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se realiza el estudio siguiendo la metodología de Thiel y Zubillaga (1998), para las Rías Altas gallegas, entre los meses de enero de 2021 a septiembre de 2021, con un muestreo por cada ría debido a las medidas COVID implantadas.

Las rías gallegas se encuentran al noroeste de la península ibérica, a lo largo de 1498 km de la costa. En total son dieciocho y se dividen en Rías Altas y Rías Baixas según su posición respecto a la localidad de Finisterre, el punto más occidental de Galicia. Las Rías Baixas son seis, mientras que las Rías Altas, en las cuales se centra este proyecto son doce: ría de Camariñas, ría de Corme, ría do Burgo, ría de Betanzos, ría de Ares, ría de Ferrol, ría de Cedeira, ría de Ortigueira, ría do Barqueiro, ría de Foz, ría de Viveiro y ría de Ribadeo (Figura 4; véase Anexos para la localización precisa).

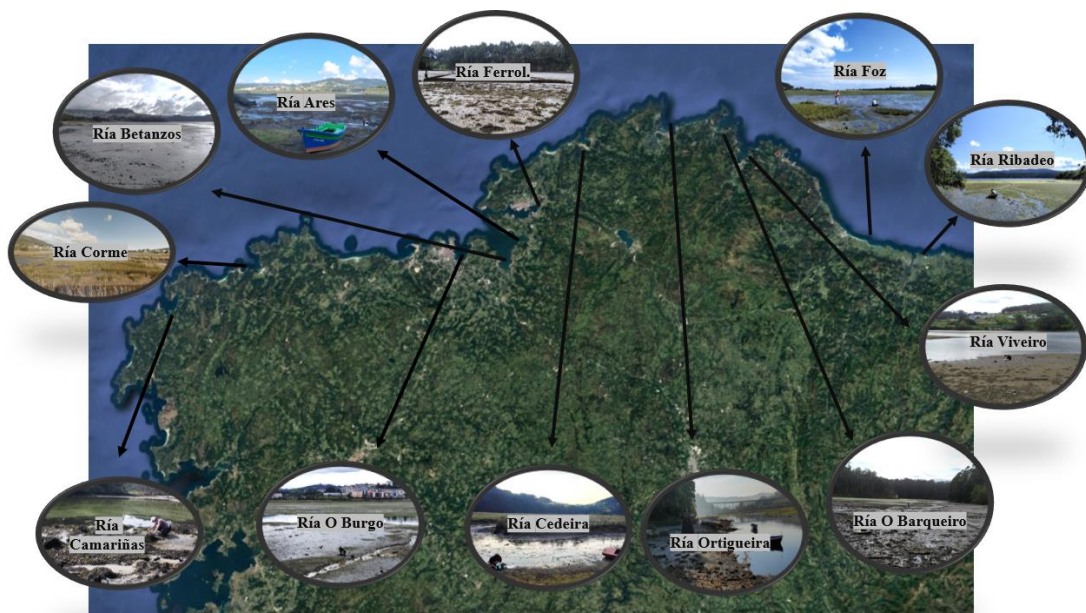


Figura 4. Puntos de muestreo de las doce rías gallegas.

Previamente al muestreo en el campo se realizó un estudio de las zonas utilizando el programa Google Earth para su ubicación (Tabla 1), además de tener en cuenta los horarios de las mareas, de acuerdo con los datos ofrecidos por Meteogalicia (Tabla 2).

Tabla 1. Los doce puntos de muestreo con su correspondiente fecha y coordenadas UTM, además de los tiempos de muestreo aproximados en minutos. La posición de cada punto de muestreo aparece reflejada en los Anexos.

Ría	Fecha	Coordenadas	Tiempo muestreo
Betanzos	02/01/2021	29T 564015.83 4799898.06	120
Ferrol	30/03/2021	29T 563129.66 4811930.02	75
Camariñas	31/03/2021	29T 488312.25 4774916.59	30
Corme	17/04/2021	29T 507112.67 4787443.33	30
Ortigueira	18/04/2021	29T 595521.88 4838973.58	120
Foz	08/08/2021	29T 641044.50 4823176.39	60
Ribadeo	08/08/2021	29T 657519.87 4820397.02	45
Viveiro	29/08/2021	29T 612590.69 4834753.85	60
O Barqueiro	29/08/2021	29T 605633.17 4840943.74	75
Cedeira	05/09/2021	29T 574100.91 4832165.23	15
O Burgo	10/09/2021	29T 550995.61 4797420.37	120
Ares	11/09/2021	29T 567903.72 4806096.88	10

Tabla 2. Ejemplo de tabla de mareas en la ría do Burgo, 11 de septiembre del 2021. Tabla recogida de Meteogalicia.

A Coruña		
	Hora	Altura
Baixamar	01:37	0.5
Preamar	07:50	3.8
Baixamar	13:53	0.6
Preamar	20:11	3.8

Una vez en la zona de estudio, se realizaron recorridos a pie mientras duró la marea baja por las zonas fangosas de la ría y con la ayuda de una pala de mano se cavó un hoyo de unos 20 cm de profundidad, hasta localizar a los individuos. La extracción de los bivalvos se realizó sin discriminación por tamaños, pero se rechazaron aquellos con las valvas rotas.

En cada punto de muestreo se recogieron alrededor de 10-15 individuos, alcanzándose un número total de 144, los cuales se introdujeron en bolsas de plástico individualizadas. Se aprovecharon las campañas en el litoral para recoger varios litros de agua de mar.

Una vez en el laboratorio, se introdujo cada almeja en un contenedor con agua de mar limpia. De cada *S. plana* se tomaron medidas de alto y ancho con la ayuda de un calibre (Figura 5).



Figura 5. Imagen de las muestras de bivalvos recogidas en la ría de Betanzos, donde se observa el calibre que se utilizó para la medición del tamaño de cada individuo y los contenedores individuales.

Se examinaron las muestras a periodos regulares durante las siguientes 24-48 horas, observando así la presencia o ausencia de los nemertinos sobre las paredes del contenedor ya que, debido a la disminución del oxígeno del agua, los nemertinos abandonan sus huéspedes (Figura 3). En el caso de que aparecieran, se extraían del contenedor con la ayuda de una pipeta hasta la placa Petri colocada encima de un papel milimetrado, por medio del cual se midió y anotó el tamaño de cada nemertino, introduciéndolo posteriormente en un tubo eppendorf, previamente etiquetado, con alcohol al 96° para su conservación y uso en futuros proyectos (Figura 6).

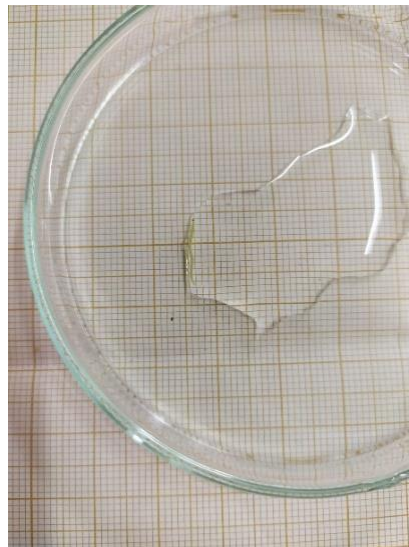


Figura 6. Muestra de un nemertino de 10 mm de tamaño obtenido de la ría de Betanzos.

Para el estudio de los sedimentos se tomaron doce muestras de sustrato, una por cada ría, recogiendo con la ayuda de una pala de mano el sustrato del hoyo realizado para la localización del bivalvo. Tras esto se etiquetó y se guardó en bolsas plásticas, las cuales fueron congeladas hasta su llegada al laboratorio. Allí se procedió a su posterior descongelación.

Para el estudio de la granulometría del sedimento se pesaron 100 gr del sustrato y se lavaron en una malla de 0.065 mm para eliminar sales. Este tamaño de malla se selecciona ya que todo lo que se desheche en el lavado se considera pelita. Tras este paso, se deja secar el sustrato. Una vez seco se tamiza durante 7 minutos con la ayuda de una tamizadora electromagnética con una columna de matices de diferente tamaño: 2 mm, 1 mm, 0.5 mm, 0.25 mm, 0.125 mm finalizando con uno de abertura de 0.065 mm, a razón de 0.5. Finalizada la tamización se recogió el sustrato retenido en cada tamiz con la ayuda de un pincel y se pesó. Se anotaron los datos recogidos de cada tamiz, calculándose el contenido de pelitas por la diferencia de peso entre el inicial (100 gr) y el peso acumulativo del resto de los tamices (Figura 7).

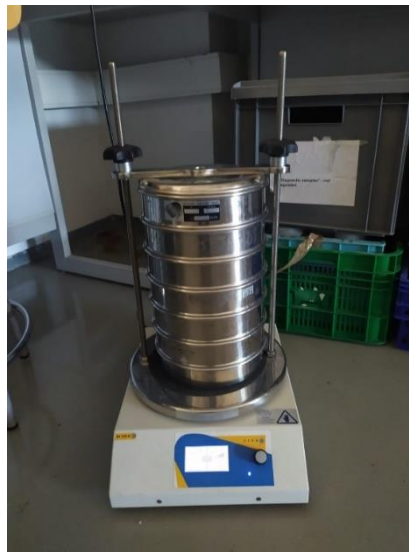


Figura 7. Tamizadora electromagnética con la columna de tamices.

Para cada muestra se calculó:

- El porcentaje de cada fracción de sedimento, y de acuerdo con Junoy y Viéitez (1989), se considera gravas todo aquello cuyo tamaño sea superior a 2 mm, arenas lo correspondido entre de 2 mm y 0.065 mm, y pelitas aquel sustrato con un tamaño menor de 0.065 mm.
- La mediana o Q50.

En cuanto al contenido de materia orgánica, se pesó 100 gr de sedimento el cual se introdujo en un recipiente de cerámica a 450°C en la mufla durante 48 horas. Tras esto se pesó y anotó la diferencia con respecto al peso inicial, obteniéndose así la cantidad de materia orgánica en el sedimento.

La concentración de metales pesados presentes en los sedimentos de las rías se obtuvo a partir de una búsqueda intensiva de bibliografía gracias a la plataforma Scopus.

Los resultados obtenidos fueron analizados con el programa estadístico R versión 4.1.2, y las gráficas obtenidas se representaron con el programa Microsoft Office Excel 2010.

Teniendo en cuenta que las muestras son independientes, y que la mayoría de las comparaciones son variables numéricas, y después de la realización del test de Shapiro como medida de la normalidad, se diferencian los siguientes test estadísticos:

- a) Test paramétricos. Tras corroborar la normalidad de los datos, y teniendo en cuenta que el tamaño muestral es pequeño, se realiza el test del Coeficiente de Pearson, el cual indica si existe una dependencia lineal entre dos variables aleatorias cuantitativas.
- b) Test no paramétricos. Para aquellos datos no normales, se realiza el test de Spearman, homólogo al test de Pearson.

Para las muestras independientes y dicotómicas o binarias se realizaron los siguientes test:

- a) Test paramétricos. Tras corroborar la normalidad de los datos con la prueba de Shapiro, y teniendo en cuenta el tamaño muestral, se realiza la prueba t-student, la cual determina si existe una diferencia significativa entre las medias de los grupos.
- b) Test no paramétricos. Para aquellos datos que no son normales, se realiza el test de Wilcoxon, como homólogo al test t-student.

La significación utilizada para todos los test realizados fue del 95%, por lo que se usó $\alpha=0.05$.

RESULTADOS

En un primer lugar se comenzará comentando las características fisicoquímicas del proyecto, como es la sedimentología de las zonas de estudio.

En la Tabla 3 se muestran los resultados de los porcentajes de gravas, arenas y pelitas de cada ría muestreada, tras el tratamiento del sedimento explicado en material y métodos. Se puede observar como la mayoría de las rías, siete de doce, tienen más del 50% de la fracción del sedimento dentro del grupo de las pelitas, con un tamaño inferior al 0.063 mm, siendo la ría de Ares donde se encuentra un mayor porcentaje de pelitas, 79.1%. Mientras que en cuatro de doce se catalogan dentro del grupo de las arenas, la ría de Camariñas, Ortigueira, Viveiro y Cedeira, con un tamaño del grano entre los 2 mm a los 0.063mm, siendo la ría de Camariñas la que tiene mayor porcentaje de arenas, con un 93.3%. Por último, los sedimentos más gruesos son escasamente representados en las muestras, ya que las gravas (>2 mm) superan solo el 5% en dos de las doce muestras, siendo la ría de Ferrol donde se encuentra un mayor porcentaje de estas, 24.3%.

Tabla 3. Porcentajes de gravas, arenas y pelitas de las rías muestreadas.

Ría	Gravas (%)	Arenas (%)	Pelitas (%)
Betanzos	0.4	40.7	58.9
Ferrol	24.3	40.6	35.1
Camariñas	3.7	93.3	3
Corme	0.9	39.9	59.2
Ortigueira	4.3	61.5	34.2
Foz	0.3	27.4	72.2
Ribadeo	0.4	27.4	72.2
Viveiro	1.9	72.6	25.5
O Barqueiro	2.3	30.61	67.09
Cedeira	0.8	81.8	17.4
O Burgo	12.3	28.2	59.5
Ares	2.7	18.2	79.1

En las Figuras 8 y 9 se muestran las curvas granulométricas acumulativas, y pudiendo observarse como en la mayoría de las rías hay un desplazamiento gradual de la mediana a la derecha del gráfico que indica la sucesión de las arenas medias a los fangos. En el resto de las rías se observa como la mayoría de los datos se encuentran comprendidos entre los valores de 2 mm a 0.063 mm, predominando la fracción de arenas.

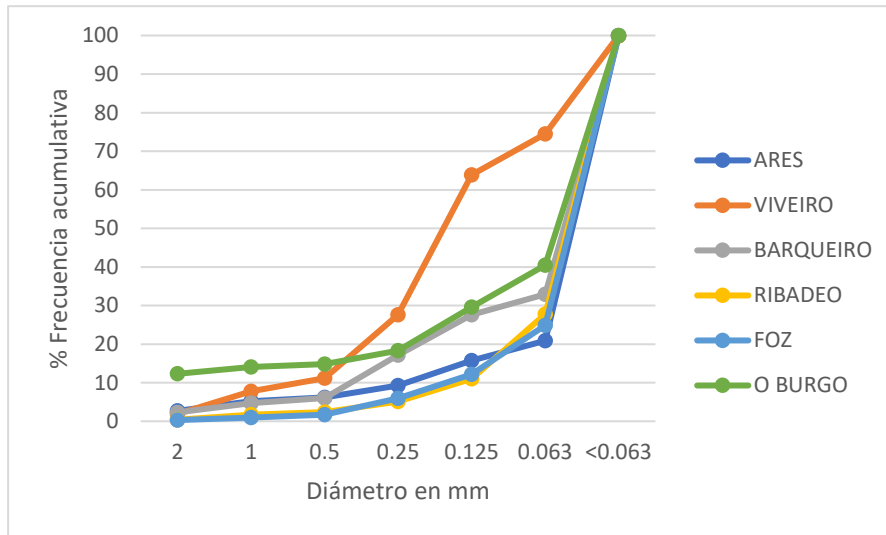


Figura 8. Curvas granulométricas acumulativas, máxima y mínima, de los sedimentos recogidos de las rías de Ares, Viveiro, O Barqueiro, Ribadeo, Foz y O Burgo.

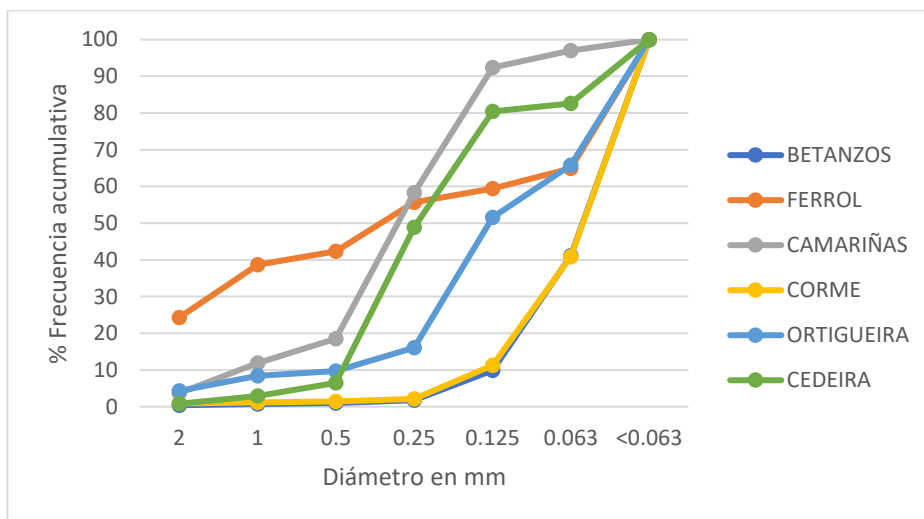


Figura 9. Curvas granulométricas acumulativas, máxima y mínima, de los sedimentos recogidos de las rías de Betanzos, Ferrol, Camariñas, Corme, Ortigueira y Cedeira.

En la Tabla 4 se muestran los resultados desglosados de cada fracción de sedimento, la mediana y el contenido de materia orgánica de las doce rías muestreadas.

La mediana granulométrica está comprendida entre los 0.07 mm a los 0.38 mm en cinco de las doce rías, mientras que en las siete restantes se encuentra comprendida entre los 0.055-0.060 mm. La ría con mayor mediana granulométrica es la de Camariñas, con un 0.38 mm, ya que como se observa en la Tabla 4 el porcentaje de arenas en esta ría es del 93%. Así mismo, la mediana granulométrica menor es la de Ares, con 0.055 mm, correspondiendo con el mayor porcentaje de fracción pelítica, 79%. Esto indica que la mayoría de las rías tienen sus sedimentos dentro de la fracción pelítica (<0.065 mm), y que el resto se encuentra en las arenas finas (0.5-0.063 mm). No se halla ninguna ría en la cual sus sedimentos estuvieran comprendidos en la fracción de gravas o arenas gruesas, como se puede observar en las Figuras 8 y 9.

Tabla 4. Fracciones granulométricas expresadas en porcentaje total de muestra, la mediana y el porcentaje de materia orgánica de cada muestra analizada.

Muestra	Ría	<2	2.0-1.0	1-0.5	0.5-0.25	0.25-0.125	0.125-0.063	<0.063	Q	%m.o
1	Betanzos	0.4	0.3	0.3	0.8	8.1	31.2	58.9	0.06	5.4
2	Ferrol	24.3	14.4	3.6	13.4	3.7	5.5	35.1	0.07	5.3
3	Camariñas	3.7	8.2	6.6	39.8	34.1	4.6	3	0.38	1.4
4	Corme	0.9	0.3	0.2	0.7	9.2	29.5	59.2	0.06	29.7
5	Ortigueira	4.3	4.1	1.3	6.4	35.5	14.2	34.2	0.18	11.2
6	Foz	0.3	0.7	0.7	4.2	6.3	12.7	75.1	0.06	28.9
7	Ribadeo	0.4	1.3	0.7	2.7	5.9	16.8	72.2	0.06	26.8
8	Viveiro	1.9	5.9	3.4	16.4	36.3	10.6	25.5	0.20	19.6
9	O Barqueiro	2.3	2.4	1.3	11.11	10.5	5.3	67.09	0.06	38.7
10	Cedeira	0.8	2.1	3.6	42.4	31.5	2.2	17.4	0.24	14.8
11	O Burgo	12.3	1.8	0.7	3.5	11.3	10.9	59.5	0.06	22
12	Ares	2.7	2.5	1	3.1	6.4	5.2	79.1	0.06	33.3

El contenido de materia orgánica varía entre 1.4 % a 38 %, siendo cinco de doce las rías las que poseen un contenido de materia orgánica comprendido entre 1.4% a 14.8%. Mientras que siete de las doce rías tienen un contenido de materia orgánica comprendido entre 22% a 38.7%. Se observa cómo hay un gradiente de materia orgánica hacia el norte, ya que la ría con menor porcentaje es la de Camariñas, con un 1.4%, mientras que las rías del norte, como la de O Barqueiro, con un 38.7% o la de Ares, con un 33%, poseen un alto porcentaje del mismo, observándose un gradiente norte sur de los sedimentos.

Aquellas rías con una mayor cantidad de materia orgánica son las mismas que tienen una fracción pelítica mayor, por lo que se realizó un test de correlación para ambos datos, dando como resultado una correlación positiva entre el contenido de materia orgánica y la fracción pelítica ($R=0.74$, $p<0.00603$).

A través del estudio de Prego y Cobelo (2003) se ha podido obtener los datos de la cantidad de metales pesados presentes en la superficie de los sedimentos de cada ría. Se muestran en la Tabla 5 los valores de cobalto (Co), cromo (Cr), cobre (Cu), plomo (Pb) y zinc (Zn), representándose en rojo los valores que están por encima de los que indican como normales en cada caso, así como la presencia o ausencia de los nemertinos en las doce rías muestreadas, marcando con ++ en aquellas rías donde se encuentran una mayor cantidad de nemertinos, + en las cuales se encuentran nemertinos, +- donde solo se han encontrado uno o dos nemertinos y - donde no se encontraron ninguno. Se observa como las rías de Ortigueira y O Burgo son las más contaminadas, mientras que las menos contaminadas son las de Camariñas, Betanzos, Foz y Ares.

Tabla 5. Metales pesados presentes en la superficie de los sedimentos, en $\mu\text{g g}^{-1}$, y la presencia o ausencia de nemertinos *Tetrastemma fozensis* en los bivalvos *Scrobicularia plana* en las doce rías gallegas muestreadas.

	Betanzos	Ferrol	Camariñas	Corme	Ortigueira	Foz
Co	14	12.5	12	13.5	18	11
Cr	39.5	73	28.5	67.5	397.5	47
Cu	29	136.5	38	38.5	48	18.5
Pb	48	91	76	67.5	116	46
Zn	50	22.5	105	134	116.5	84.5
Nem	(+)	(+)	(++)	(+-)	(+)	(-)

	Ribadeo	Viveiro	Barqueiro	Cedeira	Burgo	Ares
Co	10.5	14	12.5	12.5	14	13
Cr	53	46.5	117.5	77.5	77.5	35
Cu	23	56	26	48	221	37.5
Pb	28	111.5	35.5	67.5	219	52.5
Zn	108.5	186.5	108	116	335	137.5
Nem	(-)	(-+)	(-)	(-)	(+)	(+)

Tras haber mostrado los resultados acerca de las características fisicoquímicas de las zonas, se hablará acerca de los resultados de *Scrobicularia plana* y *Tetrastemma fozensis*.

Los bivalvos *Scrobicularia plana* fueron encontrados en las doce rías muestreadas, pero solo en ocho de doce se hallaron nemertinos (Tabla 6). El total de nemertinos encontrados son 97, siendo la ría de Camariñas en la cual se encuentra el mayor número de nemertinos, 63 individuos repartidos en los 11 bivalvos. Son las rías de Cedeira, O Barqueiro, Foz y Ribadeo en las cuales no se obtiene ningún individuo de *Tetrastemma fozensis*.

Tabla 6. Número de individuos de *Scrobicularia plana* y *Tetrastemma fozensis* recogidos en las doce rías muestreadas.

Ría	Nº <i>Scrobicularia plana</i>	Nº <i>Tetrastemma fozensis</i>
Betanzos	17	6
Ferrol	15	3
Camariñas	11	64
Corme	15	2
Ortigueira	12	12
Foz	11	0
Ribadeo	11	0
Viveiro	11	2
O Barqueiro	11	0
Cedeira	11	0
O Burgo	10	6
Ares	15	3

Se muestreó un bajo número de *Scrobicularia plana* en las rías de O Burgo, Foz, O Barqueiro debido a que fue muy difícil encontrar animales vivos, a pesar de que la presencia de numerosas conchas vacías permite inferir que la especie ha sido abundante en otros tiempos en estas rías. A causa de las medidas COVID-19 no se pudo estudiar la abundancia estacional de *Scrobicularia plana* y *Tetrastemma fozensis* en las rías muestreadas, por lo que solo se realizó un muestreo por cada ría.

El tamaño de *Scrobicularia plana* varía entre 1.8 a 3.5 cm de ancho y 0.98 a 3.62 cm de largo, observándose una relación positiva significativa entre el ancho y el largo de la concha ($R=0.71$, $p<0.0088$) como era esperable (Figura 10).

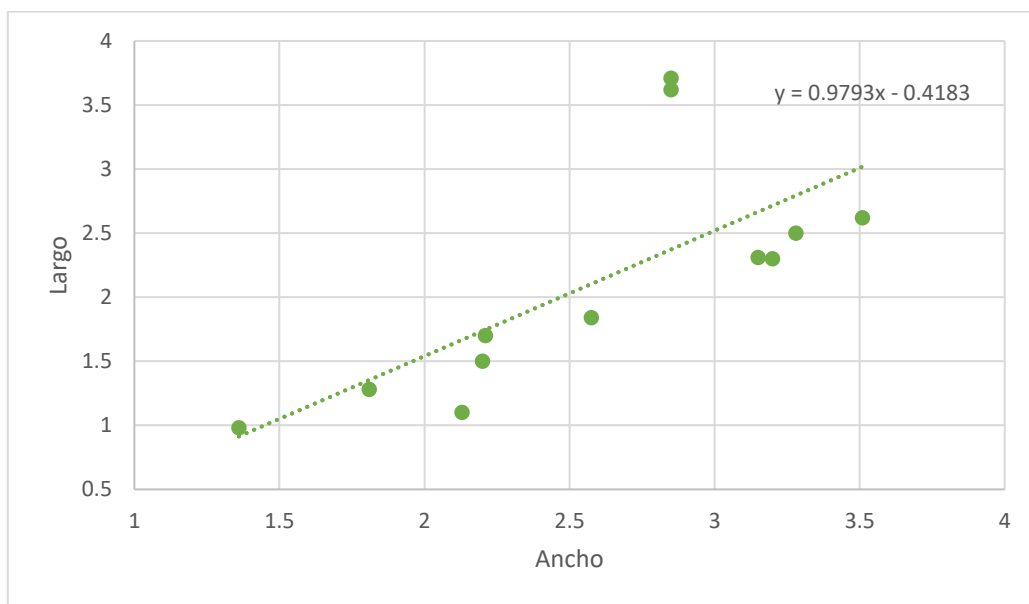


Figura 10. Relación entre el ancho y el largo de la concha de *Scrobicularia plana*, en centímetros.

La Figura 11 refleja los distintos tamaños de *Scrobicularia plana* en las diferentes rías. Se puede observar como la mayoría de las muestras tienen un tamaño comprendido entre los 2 cm a los 3.5 cm, encontrando los individuos de mayor tamaño en la ría de Corme, con valores comprendidos entre los 2.5 cm a los 4 cm, mientras que la ría con los bivalvos más pequeños es la de Foz, con un rango comprendido entre los 0.9 cm a los 2 cm. Tras esto se realizó una prueba estadística, test t, dando como resultado lo observado en esta figura, unas diferencias significativas entre las rías del tamaño de *Scrobicularia plana* (test t, $p<0.305*10^{-7}$).

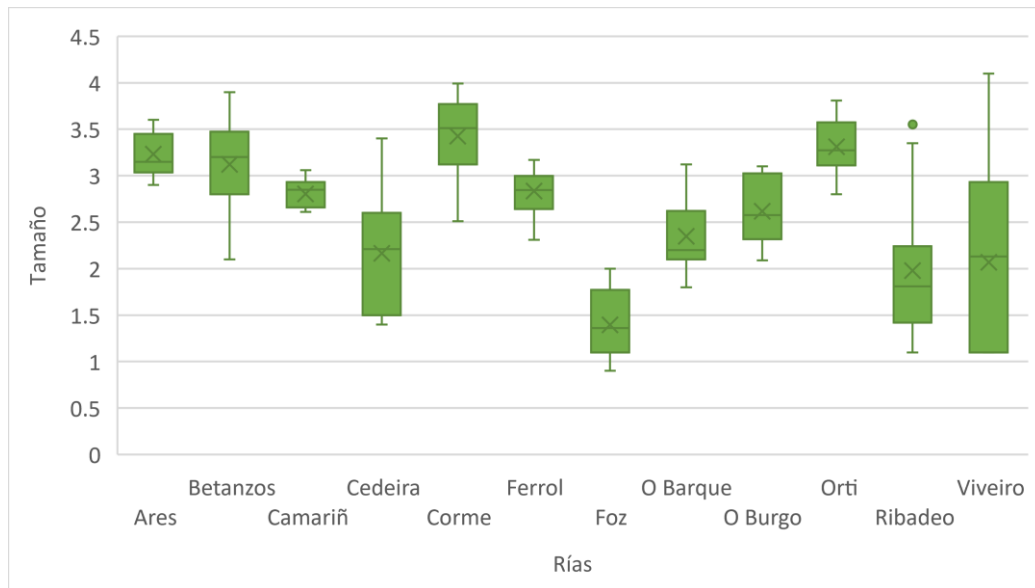


Figura 11. Tamaños medio, en centímetros, del bivalvo *Scrobicularia plana* en las distintas rías muestreadas.

La Figura 12 representa el número de individuos de *Tetrastemma fozensis* hallado en cada ría. Se observa como la cantidad de nemertinos por ría varía entre 1 y 64 individuos, excluyendo aquellas rías donde no se encontró ninguno, como son las rías de Foz, Ribadeo, Cedeira y O Barqueiro. En la mayoría de ellas se observaron de 1 a 2 individuos, destacando la ría de Camariñas donde se anotaron 64 individuos.

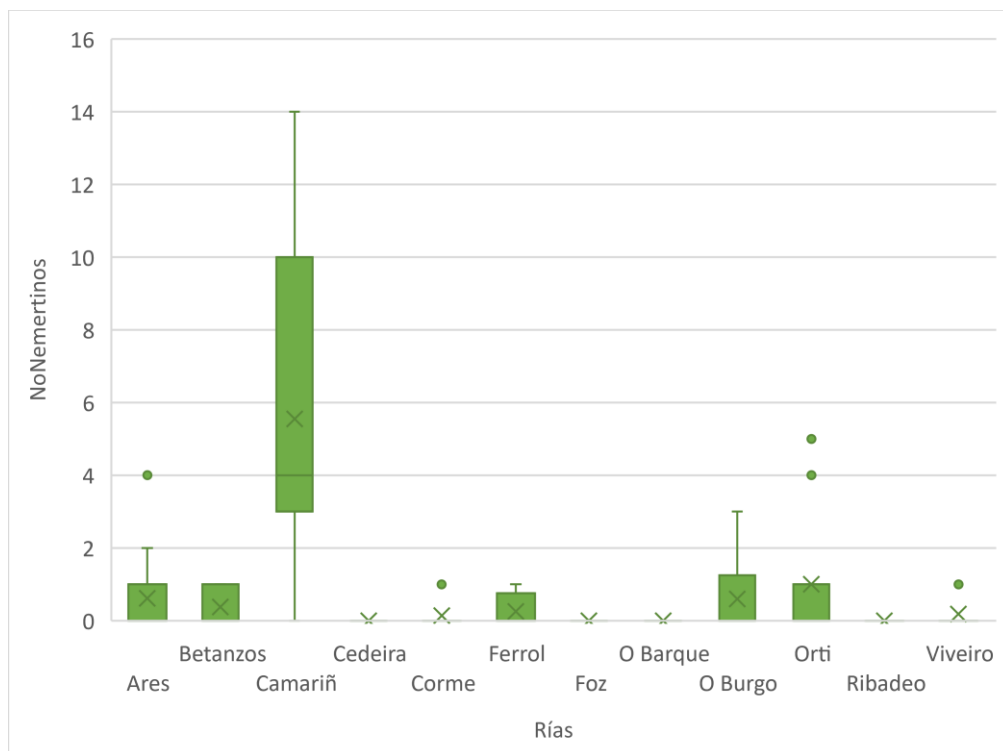


Figura 12. Número medio de nemertinos *Tetrastemma fozensis* encontrado en las rías estudiadas.

En la Tabla 7 se desglosan el número de individuos encontrados en cada ría con sus correspondientes tamaños máximos y mínimos, comprendidos entre 1 mm a 10 mm. Enfocándose en el tamaño mínimo de los nemertinos, la ría de Ortigueira sería la que tiene los individuos de menor tamaño. Mientras que si se comparan los tamaños máximos de los nemertinos, son las rías de Betanzos, Corme y O Burgo donde se hallan individuos de mayor tamaño, 10 mm.

Tabla 7. Número de *Tetrastemma fozensis* hallados en las rías muestreadas, así como el tamaño máximo y mínimo de los individuos, en milímetros.

Ría	Nº <i>Tetrastemma fozensis</i>	Tamaño mínimo	Tamaño máximo
Betanzos	6	1.5	10
Ferrol	3	4.5	5
Camariñas	63	1.5	5.1
Corme	2	6	10
Ortigueira	12	1	7
Foz	0	-	-
Ribadeo	0	-	-
Viveiro	2	2	3
O Barqueiro	0	-	-
Cedeira	0	-	-
O Burgo	6	5	10
Ares	3	3	5

La Figura 13, representa el número medio de nemertinos por bivalvo en las rías. En la mayoría de ellas, siete de doce, se encontraron entre 0.25 a 1 nemertino/bivalvo, sin tener en cuenta aquellas donde no fueron hallados nemertinos, que fueron las cuatro rías mencionadas anteriormente. Mientras que en la ría de Camariñas se encuentran 5.5 nemertinos/bivalvo de media. A estos datos se le realizó la prueba estadística t student, donde se observaron diferencias significativas entre estos datos (test t, $p < 0.014$).

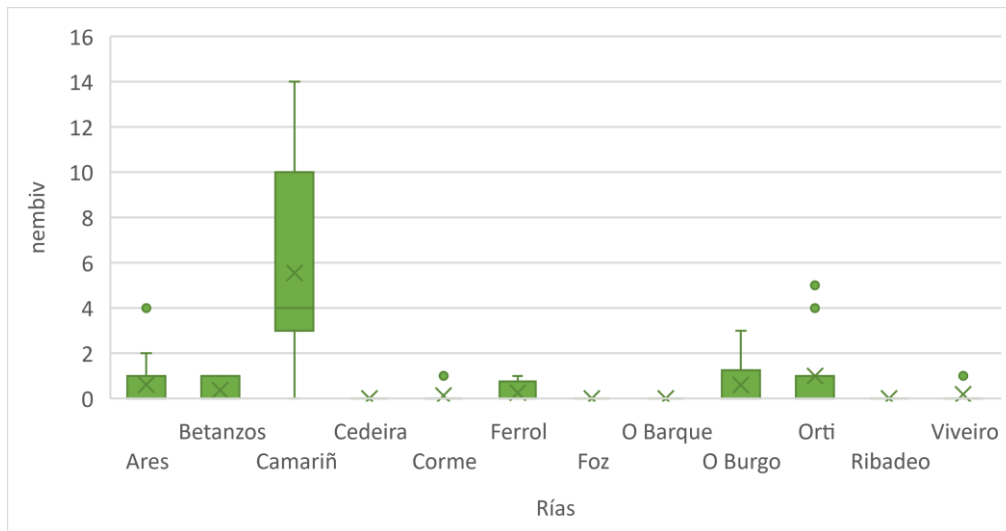


Figura 13. Número medio de nemertinos *Tetrastemma fozensis*/bivalvo *Scrobicularia plana* en las rías muestreadas.

La Figura 14 representa el número medio de nemertinos por el tamaño de bivalvo. Esto se realizó para observar si existía una relación entre el tamaño del bivalvo y la cantidad de nemertinos que puedan hospedarse en él. Tras el análisis estadístico del test t student (test t, $p < 0.0149$), se obtiene como resultado una leve correlación entre ambos datos, por lo que no se puede llegar a concluir que cuanto mayor sea el bivalvo, más nemertinos pueden hospedar en él.

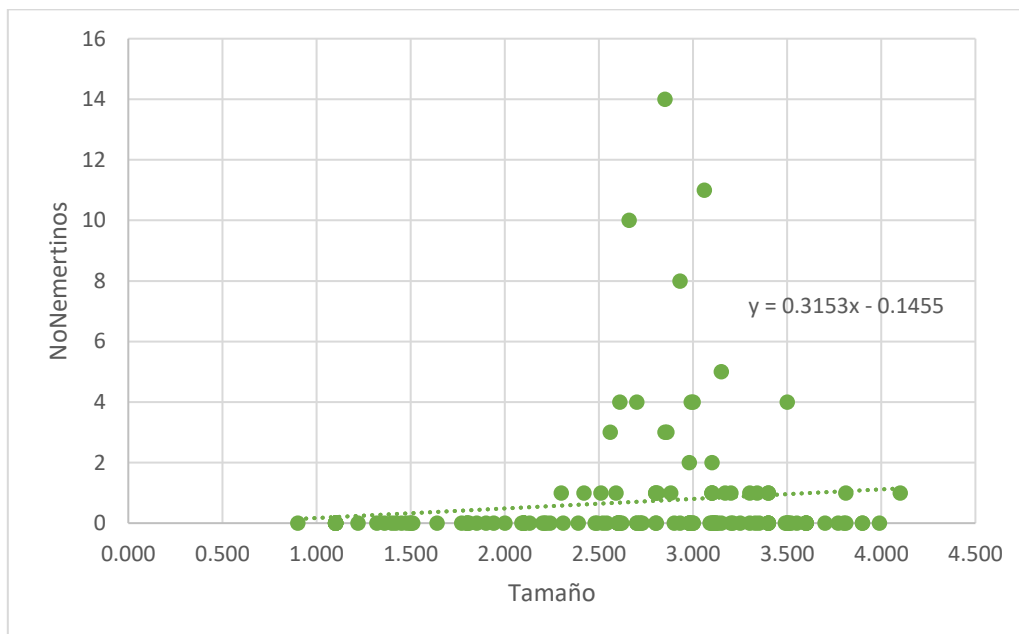


Figura 14. Número de nemertinos por tamaño del bivalvo *Scrobicularia plana* en relación con el tamaño de su hospedador, en centímetros.

Tratando de elucidar si los contaminantes afectaban a la presencia o ausencia de *Tetrastemma fozensis* se realizó un test de normalidad de los datos. Para aquellos en los que el análisis es positivo se realizó el test de correlación de Pearson, y para las muestras no paramétricas se realizó el test de Spearman. Tras esto, se obtuvo como resultado que no se puede rechazar la correlación entre los datos de cobalto (Co) y el tamaño de *Scrobicularia plana* ($R=0.61$, $p < 0.033$). Esto puede significar que la presencia del metal pesado Co en la superficie del sedimento incrementa el tamaño de *Scrobicularia plana*, entreviendo la naturaleza bioindicadora de la especie. Asimismo, tampoco se puede rechazar la hipótesis de la correlación entre los datos de plomo (Pb) y el número de individuos de *Tetrastemma fozensis* obtenidos ($R=0.57$, $p < 0.048$) en *Scrobicularia plana*, como indicaron Thiel y Zubillaga (1998) (Figuras 15 y 16).

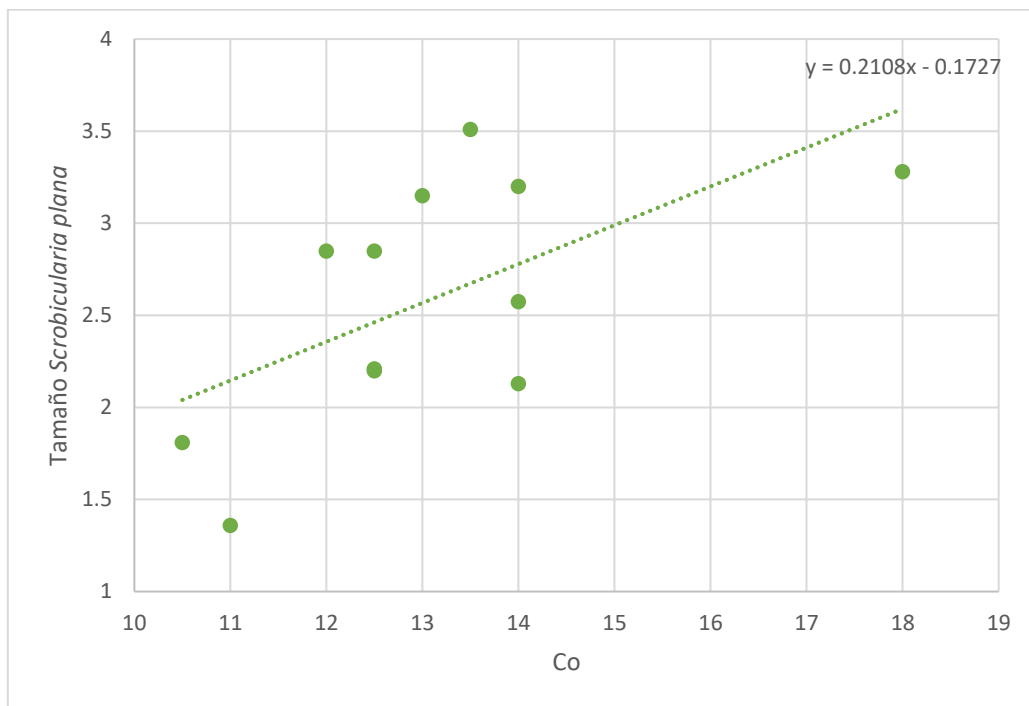


Figura 15. Relación del tamaño medio del bivalvo *Scrobicularia plana*, en centímetros, con la cantidad de Co obtenido en la superficie del sedimento de las rías, dato recogido del estudio de Prego y Cobelo (2003).

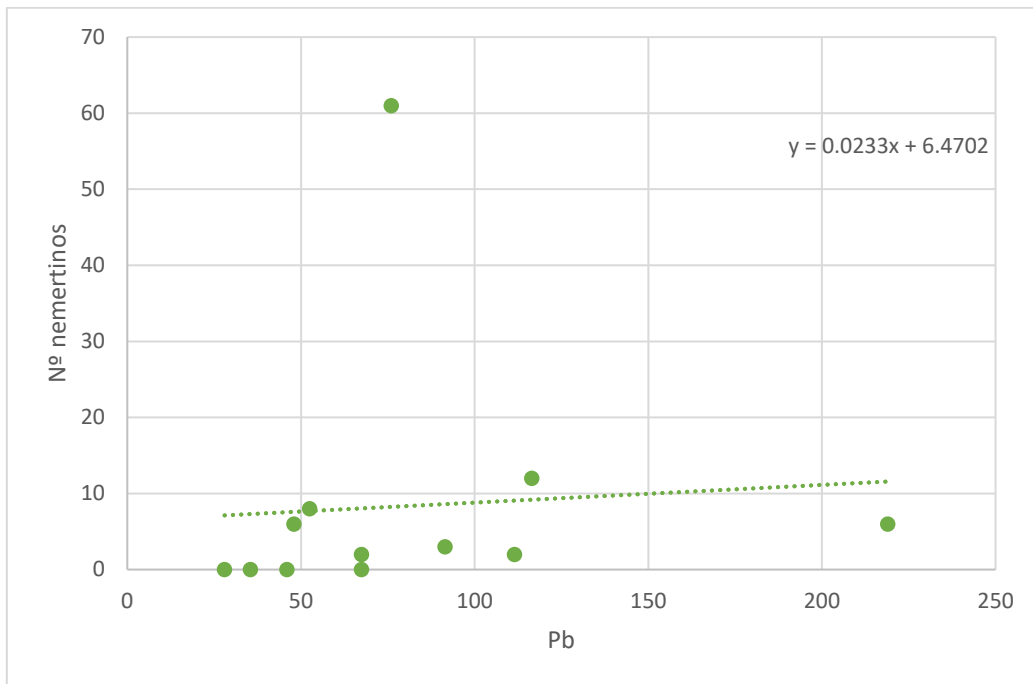


Figura 16. Relación del número medio de nemertino *Tetrastemma fozensis* con la cantidad de Pb obtenido en la superficie del sedimento de las rías, dato recogido del estudio de Prego y Cobelo (2003).

DISCUSIÓN

En las rías gallegas se produce una mezcla de aguas ya que, por un lado está el agua dulce proveniente de los ríos, con una menor densidad, y por otro el agua salada marina. Al encontrarse, debido a la diferencia de densidades, el agua dulce se mueve por la superficie de la columna del agua mientras el agua salada circula por el fondo. Este funcionamiento induce a la formación del fenómeno denominado afloramiento y por el cual las rías gallegas son una zona de alta producción. Los afloramientos tienen lugar en las rías debido a que el agua salada que entra viene cargada de nutrientes del fondo marino. En los meses de verano, cuando los vientos soplan en la dirección adecuada (en las Rías Baixas, viento norte; en las Rías Altas, viento noreste o este), se produce una mayor salida de agua dulce, por lo que entra más agua salada cargada de estos nutrientes, con una mayor renovación de la zona. No solo se produce una disminución de la temperatura, sino que también se produce un aumento en la producción de la zona. Cuando existen estas condiciones, se puede llegar a renovar hasta un 8%/día, mientras que en condiciones normales la renovación es de 2-3%/día (Soto, 2003).

El caso inverso es cuando los vientos son del sur (en el caso de las Rías Baixas), se produce una ralentización de la salida de las aguas, y por tanto de la renovación, acumulándose así los vertidos en el interior de la ría. Aun así, se puede dar el caso de que los vientos sean muy fuertes, originando que la salida del agua dulce sea por el fondo y la entrada por la superficie, alcanzándose así hasta renovaciones del 50%/día (Soto, 2003). Es por esta misma razón por lo que las rías gallegas son una gran fuente de nutrientes y con ello una gran cantidad de materia orgánica.

En los resultados obtenidos se observa como en la mayoría de las rías hay una alta cantidad de materia orgánica, debido a este intercambio de nutrientes. Además de esto, también se observa como al adentrarse en las rías hay un aumento de esta cantidad de materia orgánica, como indicó Junoy y Viéitez (1989), en su estudio de la ría de Foz, ya que en los puntos de muestreo más internos de la ría existía una mayor cantidad de materia orgánica, demostrando el gradiente de enriquecimiento de esta. En este estudio no se muestrearon varias zonas dentro de cada ría debido a las restricciones impuestas por el COVID-19, que impidieron realizar los muestreos inicialmente planificados. En todo caso se puede concluir por los puntos de muestreo, que en aquellas rías donde la recogida de sedimentos fue más en el interior, como pudo ser la ría de O Barqueiro o la de Foz,

existe una mayor cantidad de materia orgánica, en comparación con las rías de Camariñas o de Betanzos, donde los puntos de muestreo son más al exterior de las rías, por lo que las cantidades de materia orgánica obtenidas son menores (Figuras 18-28).

En relación con la materia orgánica obtenida en las rías, se encuentran los porcentajes de pelitas y arenas. Como se puede observar en los resultados, aquellas zonas con alta cantidad de materia orgánica tienen un mayor porcentaje de pelitas, con una relación directamente proporcional, como muestra la Figura 17.

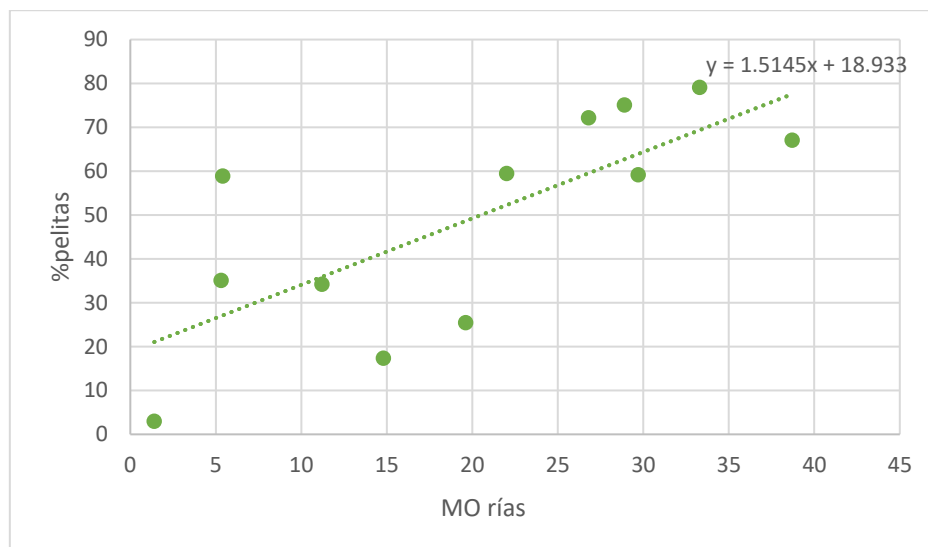


Figura 17. Relación de la materia orgánica y la fracción pelítica de los sedimentos muestreados.

Junoy y Viéitez (1989) comprobaron que al adentrarse en las rías los sedimentos son de menor tamaño. Esto es debido a las características físicas de éstos ya que las pelitas tienen un menor tamaño, por lo que son arrastradas con mayor facilidad por las corrientes fluviales, sedimentándose en cuanto pierden su capacidad de transporte. Lo mismo ocurre con las arenas fangosas y finas, ocupando una posición intermedia de los sedimentos entre las gravas y las pelitas. Los sedimentos más comunes en las rías son las arenas finas, las arenas fangosas y las pelitas, ya que debido a las características de transporte de las gravas y las arenas gruesas, tienen una menor capacidad de transporte y se sedimentan en las entradas de los estuarios. En los resultados del estudio lo que se puede comparar son las coordenadas de las rías, y por medio de ello se concluye que en aquellas donde los puntos de muestreo son en las zonas más externas de la misma, se obtiene una mayor cantidad de arenas finas que en las zonas donde los puntos de muestreo se encuentran más hacia el interior. Aun así, ambos ambientes son propicios para la especie de estudio, ya que todos los puntos de muestreo se encuentran comprendidos entre las fracciones de arenas finas

a pelitas, hábitat de *Scrobicularia plana* (Tabla 1; véase anexos para la localización precisa).

Gibson y Junoy (1991) descubrieron que *Scrobicularia plana* es el hospedador del nemertino *Tetrastemma fozensis*, ya que en este mismo estudio examinaron también las especies *Cerastoderma edule* y *Venerupis decusata* (Linnaeus, 1758), no hallándose ningún nemertino en la cavidad del manto, y concluyendo que es *Scrobicularia plana* su único hospedador. Se puede encontrar el bivalvo *S. plana* en los fondos fangosos a arenosos de las rías, características que permitieron localizar con facilidad los individuos recogidos para este estudio.

Sola (1994) en su estudio sobre el estuario del Bidasoa, observó una densidad de población estable a lo largo de todos los años de muestreo, dando como motivos de esta estabilidad la falta de competencia por parte de otras especies como son *Macoma balthica* (Linnaeus, 1758) y *Cerastoderma edule*, la falta de remoción del sedimento, sin contar grandes temporales y riadas, además de que la estación de muestreo se encontraba protegida por marejadas del NW. Esta zona además poseía un sedimento rico en fangos y materia orgánica, que contribuía al desarrollo de la especie. Los motivos del descenso de la población en determinados casos los achacó a la actividad de depredadores como por ejemplo *Tritia reticulata* (Linnaeus, 1758), o a la propia ingestión de las larvas y de los individuos recién incorporados al sedimento por los individuos adultos.

Se observa a lo largo de este proyecto como las poblaciones del bivalvo *Scrobicularia plana* están en declive, como indicó en su estudio Ruiz et al. (1994), ya que en la gran mayoría de las rías se hallaron muchos bivalvos muertos. Estos no se contabilizaron, pero sí que se puede observar cómo los tiempos de muestreo (Tabla 1) de una ría a otra varían debido a esta falta de densidad poblacional en muchas de ellas, como por ejemplo en la de O Burgo, coincidiendo con una de las más contaminadas. Cabe destacar que al lado del muestreo de esta ría había un desagüe de aguas residuales. Y no solo es en esta ría donde se encontraron grandes cantidades de individuos muertos, sino también en la ría de Foz y O Barqueiro, motivos por los cuales se recogieron un bajo número de individuos.

En este caso todas las rías muestreadas poseen buenas condiciones sedimentológicas, ya que tienen alto porcentaje de materia orgánica y un sustrato con unas altas proporciones de arenas finas y pelitas, por lo que los motivos que impiden que

se desarrolle el ciclo vital normal de la especie que se puede barajar son la actividad de depredadores anteriormente mencionados, la competencia con otros bivalvos, la propia ingestión de los adultos de las larvas y juveniles que impiden el desarrollo de los mismos y la actividad antropogénica mecánica por medio del arado. Esta última técnica es utilizada para el cultivo de bivalvos comerciales en las rías gallegas, lo cual se basa en la retirada del sedimento donde crecen los organismos bentónicos del intermareal, lo que puede provocar alteraciones en el ciclo vital de esta especie (García-Redondo, 2021).

El tamaño medio de *Scrobicularia plana* recogido es de 2.65 mm de ancho y de 2.3 mm de largo, existiendo relación positiva entre ambos datos ($R=0.71$, $p<0.0088$), además de observar unas diferencias significativas en el tamaño de las conchas entre las rías, encontrando las más pequeñas en Foz, y las más grandes en Corme. Esto no es acorde con el estudio de Sola (1994), ya que observan que el mayor incremento de tamaño en la concha de *Scrobicularia plana* es en los meses de verano, y el menor en los meses de invierno, en contraposición a lo hallado en nuestro estudio, ya que el muestreo en la ría de Foz fue en el mes de agosto.

Para comprobar si *Scrobicularia plana* es una especie bioindicadora de metales pesados en el sedimentos como indican en sus estudios Luoma y Bryan (1982), relacionándola con la contaminación del sedimento por cobre, o el estudio de Coelho et al. (2006), que la ponen en relación con el mercurio, se realizó el análisis estadístico correspondiente, con los datos recogidos en el estudio de Prego y Cobelo (2003), y se comparó con los datos del tamaño de *S. plana* con las cantidades de cobalto, cromo, cobre, plomo y zinc en la superficie de los sedimentos, obteniendo solo una correlación positiva con el cobalto. Esto confirma una vez más la utilización de esta especie como bioindicadora para la contaminación en el sustrato de las rías.

Como se ha dicho anteriormente, *Tetrastemma fozensis* habita en la cavidad del manto de *S. plana* en una relación de comensalismo, en la cual se alimenta de los copépodos parásitos que habitan en el interior del bivalvo. En el estudio de Gibson y Junoy (1991), un 72% de los bivalvos poseían nemertinos. Los datos recogidos reflejan que cuatro de las doce rías no poseían nemertinos. Dichas rías son las de Foz, Ribadeo, Cedeira y O Barqueiro. Esto puede ser debido al propio ciclo vital de la especie, como indicaron García y Anadón (2004), ya que las muestras de estas rías se recogieron entre los meses de agosto y septiembre, época en la cual los autores indicaron que existía una menor densidad poblacional. En el estudio de Gibson y Junoy (1991), hallaron muestras

de *Tetrastemma fozensis* en la ría de Foz, por lo que hay evidencias de la existencia del nemertino en dicha ría.

En la ría donde se hallaron una mayor cantidad de nemertinos fue en la ría de Camariñas, muestreada en el mes de marzo, pudiendo ser el motivo principal el que indicaron García y Anadón (2004). Además, hay que tener en cuenta que es una de las rías menos contaminadas según el estudio de Prego y Cobelo (2003), por lo que para esta ría se cumpliría la hipótesis de Thiel y Zubillaga (1998). No obstante, también una de las rías menos contaminadas es la de Foz, Ribadeo y O Barqueiro, que como se ha indicado anteriormente, no se hallaron ningún individuo de *Tetrastemma fozensis*, por tanto, no se puede afirmar que el estudio de Thiel y Zubillaga (1998) esté en lo cierto con la relación de la presencia del nemertino en *Scrobicularia plana* y la cantidad de metales pesados. A pesar de ello, tras los análisis estadísticos convenientes, se observó que había una leve correlación positiva entre el número de nemertinos hallados en las rías y la cantidad del metal pesado plomo, obtenido en el estudio de Prego y Cobelo (2003). Esto es un posible acercamiento al problema, del cual se necesitaría un estudio más exhaustivo, teniendo en cuenta todas las posibles variables, que por motivos del COVID-19 no se pudo tener en cuenta, como por ejemplo la estacionalidad de la especie.

Los datos recogidos reflejan la existencia de una correlación (test t, $p < 0.0149$) entre el número de nemertinos por bivalvo y el tamaño *Scrobicularia plana*. Dicha correlación es muy pequeña, por lo que no se puede concluir que el tamaño del bivalvo condicione el número de nemertinos que se habiten dentro de los mismos. Gibson y Junoy (1991), no encontraron evidencias de dicha correlación.

CONCLUSIONES

No se puede afirmar la hipótesis de Thiel y Zubillaga (1998), la cual indica que el nemertino *Tetrastemma fozensis* es un bioindicador de la contaminación en las rías, ya que en este proyecto se halla la presencia de nemertinos en la cavidad del manto de *Scrobicularia plana* en las rías más contaminadas.

La distribución de la especie *Scrobicularia plana* dentro de las rías gallegas es en los fondos arenosos a fangosos. Se observa que las poblaciones de *S. plana* están en declive, siendo sus poblaciones menos densas de lo esperado, conforme a lo descrito en publicaciones previas.

La distribución y abundancia de *Tetrastemma fozensis* no se puede afirmar que esté relacionada con la contaminación en las rías. Además, se propone realizar estudios mensuales de cada ría para observar la abundancia estacional de *Tetrastemma fozensis*.

En las Rías Altas gallegas tienen una sedimentología de arenosas a fangosas, con un porcentaje de pelitas predominante del 58%.

Es necesario un estudio continuado de la especie para proponerla como bioindicador, algo que se ha visto impedido por las restricciones de movilidad debidas a la pandemia.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer la posibilidad de realizar este trabajo, así como su tutorización y su disponibilidad constante a mi tutor y director Juan Junoy.

Además, quiero dar las gracias a toda la gente sin la cual este trabajo no podía haber sido posible: por su ayuda y apoyo en el trabajo de campo a mi padre Ángel, mi hermana Nerea, mi madre Mercedes y mi tío Toñito, los cuales me acompañaron a muestrear diez de las doce rías. Así como, mi novio Enrique, el cual me ayudó con el muestreo de la ría de Cedeira, mi mejor amiga Nerea, que me acompañó en el muestreo de la ría de Camariñas y mi amigo Ricardo, el cual me ayudó con el muestreo de la ría de Ortigueira. Quiero agradecer también a todos mis compañeros del máster que durante una de las excursiones de la asignatura restauración en medios marinos y costeros me ayudaron a intentar localizar el bivalvo.

Cabe destacar la ayuda de María Teresa Fernández Núñez, bióloga de la cofradía de pescadores de Miño y Francisco Bastida Martínez, biólogo de la cofradía de pescadores de Mugardos. Los cuales me acompañaron en la recolección y localización del bivalvo en ambas rías.

Mi agradecimiento a todos ellos.

BIBLIOGRAFÍA

Arce, C. A. 2019. *Efecto de la contaminación por metales pesados en Chione undatella (GB Sowerby I, 1835) del Puerto minero de Santa Rosalía, Baja California Sur, México*. Tesis doctoral, Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas.

Carballeira, A., Carral, E., Puente, X. y Villares, R. 2000. Monitoreo a escala regional de la contaminación costera. Nutrientes y metales pesados en sedimentos y organismos estuarinos de la costa de Galicia (noroeste de España). *Revista Internacional de Medio Ambiente y Contaminación*, 13 (1-6), 534-572.

Chernyshev, V. M., Khazipov, O. V., Eremin, D. B., Denisova, E. A., y Ananikov, V. P. 2021. Formation and stabilization of nanosized Pd particles in catalytic systems: Ionic nitrogen compounds as catalytic promoters and stabilizers of nanoparticles. *Coordination Chemistry Reviews*, 437, 213860.

Coelho, JP, Rosa, M., Pereira, E., Duarte, A. y Pardal, MA. 2006. Patrón y tasas anuales de bioacumulación de mercurio en *Scrobicularia plana* en un gradiente de mercurio inducido por humanos (Ría de Aveiro, Portugal). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 69 (3-4), 629-635.

Gago Tinoco, A. 2016. *Estudio metalo-metabolómico de bioindicadores de áreas costeras y estuarinas del suroeste de la Península Ibérica*. Tesis doctoral, Universidad de Huelva.

García-Pérez, J. A., y Anadón, N. 2004. Seasonal abundance and reproductive strategy of *Tetrastemma fozensis* (Hoploneurata, Nemertea) in the Villaviciosa estuary (Asturias, Northern Spain). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 60(4), 581-586.

García-Redondo, V. 2021. Conservación y futuro de las praderas marinas en Galicia. *Praderas marinas, tesoros de biodiversidad*, 27-39.

Ghrefat, H., y Yusuf, N. 2006. Assessing Mn, Fe, Cu, Zn, and Cd pollution in bottom sediments of Wadi Al-Arab Dam, Jordan. *Chemosphere*, 65(11), 2114-2121.

Gibson, R., y Junoy, J. 1991. A new species of *Tetrastemma* (Nemertea: Enopla: Monostiliferoidea) from Ría de Foz, north-western Spain, found living in the mantle cavity of the bivalve mollusc *Scrobicularia plana*. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 103 (3), 225-240.

Gillet, P., Mouloud, M., Durou, C., y Deutsch, B. 2008. Response of *Nereis diversicolor* population (Polychaeta, Nereididae) to the pollution impact—Authie and Seine estuaries (France). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 76 (2), 201-210.

Herrera-Bachiller, A., Fernández-Álvarez, F. Á., y Junoy, J. 2015. A taxonomic catalogue of the nemerteans (phylum Nemertea) of Spain and Portugal. *Zoological science*, 32(6), 507-522.

Junoy, J. y Herrera-Bachiller, A. 2006. Los nemertinos del Parque Nacional marítimo-terrestre de las Islas Atlánticas de Galicia. *Proyectos de investigación en parques nacionales, 2006-2009*, 311-325.

Junoy, J., y Viéitez, J. M. 1988. Cartografía de los sedimentos superficiales de la Ria de Foz, (Lugo). *Thalassas*, 7, 9-19.

Luoma, S. N., y Bryan, G. W. 1982. A statistical study of environmental factors controlling concentrations of heavy metals in the burrowing bivalve *Scrobicularia plana* and the polychaete *Nereis diversicolor*. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 15(1), 95-108.

Méndez, N., Romero, J., y Flos, J. 1997. Population dynamics and production of the polychaete *Capitella capitata* in the littoral zone of Barcelona (Spain, NW Mediterranean). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 218 (2), 263-284.

Molares, J., Parada, J. M., Navarro-Pérez, E., y Fernández, A. 2008. Variabilidad interanual de las ventas de los principales recursos marisqueros de Galicia y su relación con las condiciones ambientales. *Revista Galega dos Recursos Mariños*, 2(1), 1-42.

Moretto, H. y M.A. Scelzo. 2004. Gusanos Nemertinos. *Entre mareas* (12), 107-111.

Mouneyrac, C., Linot, S., Amiard, J. C., Amiard-Triquet, C., Métais, I., Durou, C., Minier, C., y Pellerin, J. 2008. Biological indices, energy reserves, steroid hormones and sexual maturity in the infaunal bivalve *Scrobicularia plana* from three sites differing by their level of contamination. *General and Comparative Endocrinology*, 157(2), 133-141.

Planas, M. 1986. *Dinámica de las poblaciones de la macrofauna bentónica intermareal de la ensenada de Lourizán (ría de Pontevedra)*. Tesis doctoral, Universidade de Santiago de Compostela.

Prego, R. y Cobelo-García, A. 2003. Panorama del siglo XX sobre los metales pesados en las Rías Gallegas (NO Península Ibérica). *Contaminación ambiental*, 121 (3), 425-452.

Reish, D. J. 1956. The relationship of the polychaetous annelid *Capitella capitata* (Fabricius) to waste discharges of biological origin. *Transactions* (1), 195-200.

Ruiz, J. M., Bryan, G. W., y Gibbs, P. E. 1994. Chronic toxicity of water tributyltin (TBT) and copper to spat of the bivalve *Scrobicularia plana*: ecological implications. *Marine Ecology Progress Series*, 105-117.

Santos, S., Luttkhuizen, P. C., Campos, J., Heip, C. H., y van der Veer, H. W. 2011. Spatial distribution patterns of the peppery furrow shell *Scrobicularia plana* (da Costa, 1778) along the European coast: a review. *Journal of Sea Research*, 66 (3), 238-247.

Schuster, R., Strehse, J. S., Ahvo, A., Turja, R., Maser, E., Bickmeyer, U., Lehtonen, K. K., y Brenner, M. 2021. Exposure to dissolved TNT causes multilevel biological effects in Baltic mussels (*Mytilus* spp.). *Marine Environmental Research*, 167, 105264.

Sola, J. C. 1994. *Estudio de la comunidad reducida de macoma en el estuario del Bidasoa: evolución de la estructura y biología de las especies dominantes (dinámica poblacional y reproducción)*. Tesis doctoral, Universidad de Navarra.

Soto, M. 2003. Problemas e riscos de contaminación nas rías galegas. *Adega cadernos*, (10), 15-28.

Thiel, M. y Francés -Zubillaga, G. 1998. Temporal and spatial occurrence of *Tetrastemma fozensis* (Hoploneurini) in intertidal bivalves. *Hydrobiologia* 36: 257-262.

Thiel, M. y Norenburg, J. 2009. Nemertea-Gusanos Cintiformes. *Fauna marina bentónica de la Patagonia Chilena: guía de identificación ilustrada*, 370-380.

Thiel, M., y Kruse, I. 2001. Status of the Nemertea as predators in marine ecosystems. *Hydrobiologia*, 456 (1), 21-32.

Ward, J. E., Zhao, S., Holohan, B. A., Mladinich, K. M., Griffin, T. W., Wozniak, J., y Shumway, S. E. 2019. Selective ingestion and egestion of plastic particles by the blue mussel (*Mytilus edulis*) and eastern oyster (*Crassostrea virginica*): implications for using bivalves as bioindicators of microplastic pollution. *Environmental science & technology*, 53(15), 8776-8784.

Warren, L. M. 1976. A population study of the polychaete *Capitella capitata* at Plymouth. *Marine Biology*, 38 (3), 209-216.

Waykar, B., y Deshmukh, G. 2012. Evaluation of bivalves as bioindicators of metal pollution in freshwater. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 88(1), 48-53.

Zuloaga, O., Prieto, A., Usobiaga, A., Sarkar, S. K., Chatterjee, M., Bhattacharya, B. D., Alam M.A. y Satpathy, K. K. 2009. Polycyclic aromatic hydrocarbons in intertidal marine bivalves of Sunderban mangrove wetland, India: an approach to bioindicator species. *Water, air, and soil pollution*, 201(1), 305-318.

- **Herramientas online:**

Google earth. Disponible en: <https://www.google.com/intl/es/earth/>

Meteogalicia. Disponible en:

<https://www.meteogalicia.gal/web/prediccion/maritima/mareasIndex.action>

R Core Team (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

Scopus. Disponible en: <https://www.scopus.com/home.uri>

ANEXOS

A continuación, se indica con un punto rojo los diferentes lugares de muestreo en cada una de las rías gallegas, imágenes ordenadas de sur a norte.



Figura 18. Punto de muestreo de la ría de Camariñas.

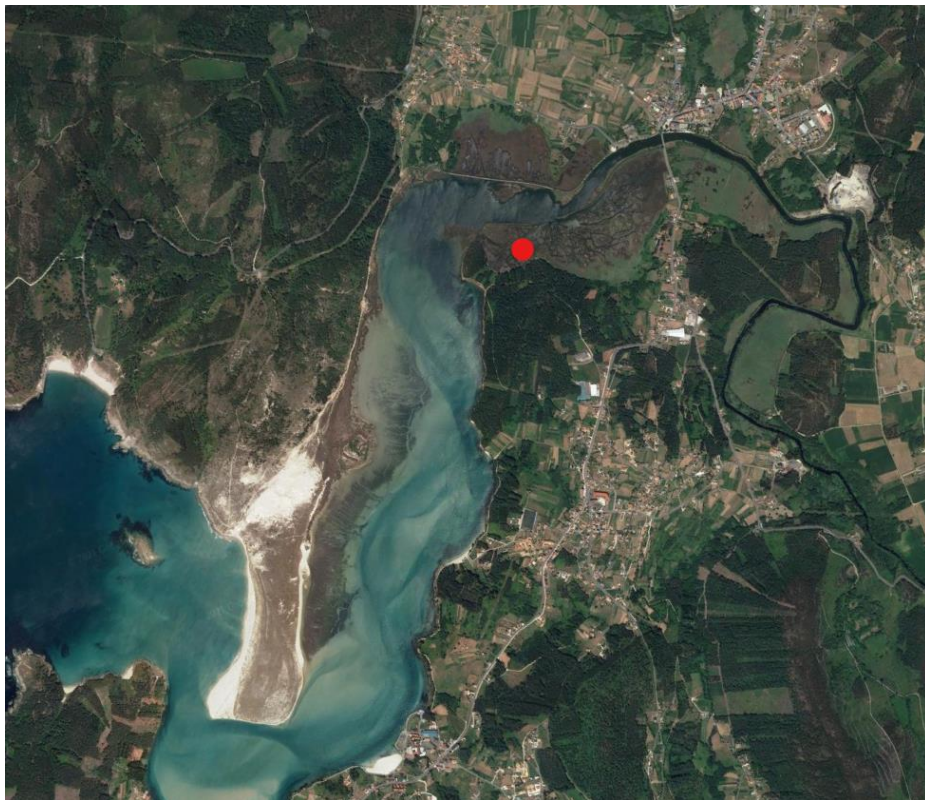


Figura 19. Punto de muestreo de la ría de Corme.

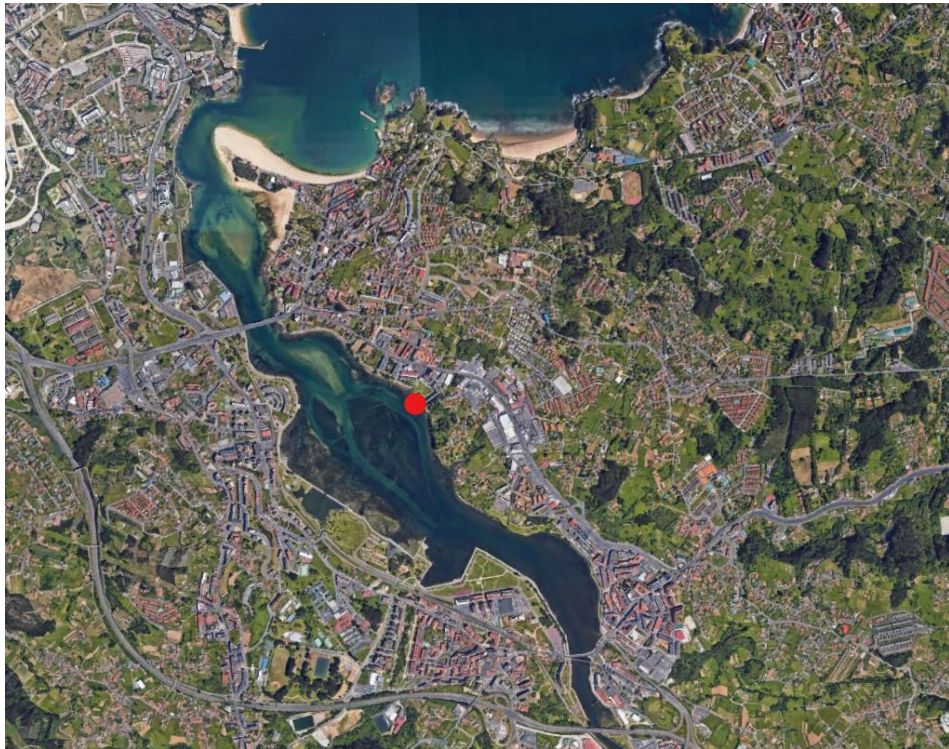


Figura 20. Punto de muestreo de la ría de O Burgo.

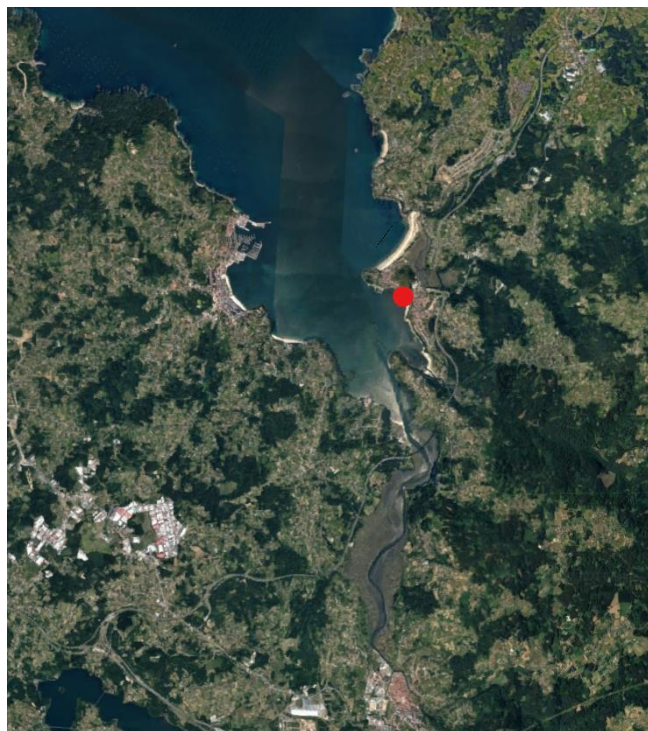


Figura 21. Punto de muestreo de la ría de Betanzos

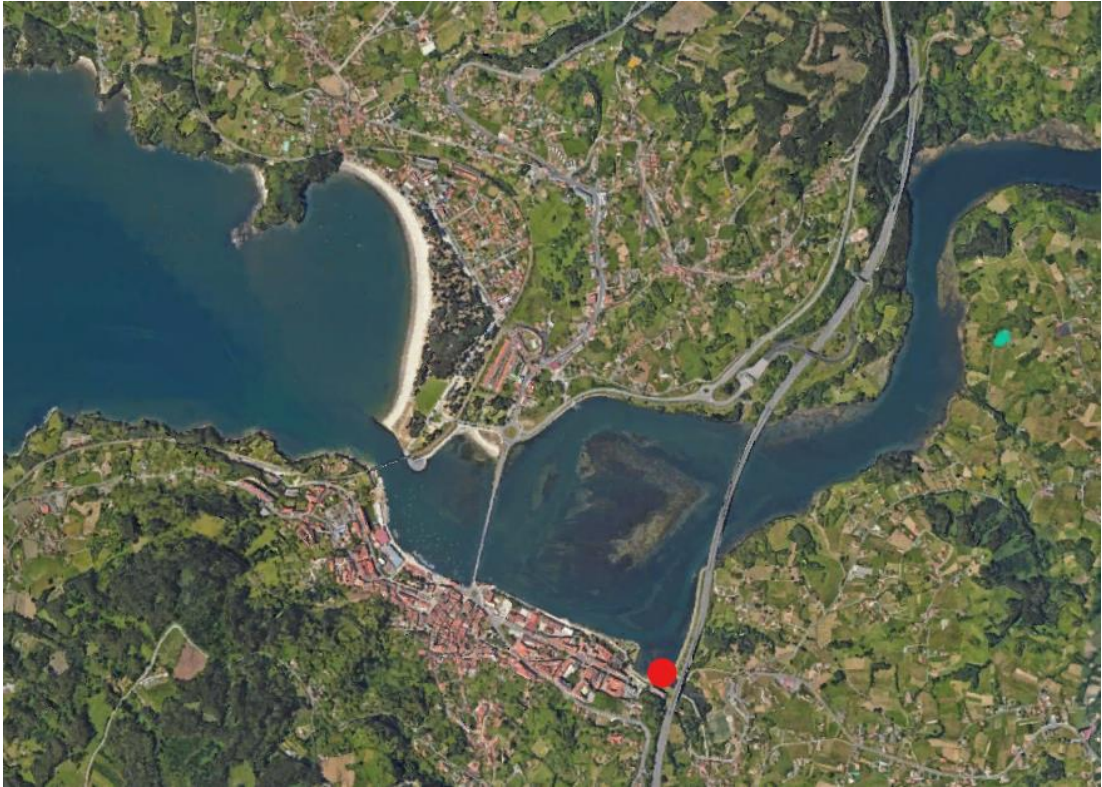


Figura 22. Punto de muestreo de la ría de Ares.



Figura 23. Punto de muestreo de la ría de Ferrol.



Figura 24. Punto de muestreo de la ría de Cedeira.

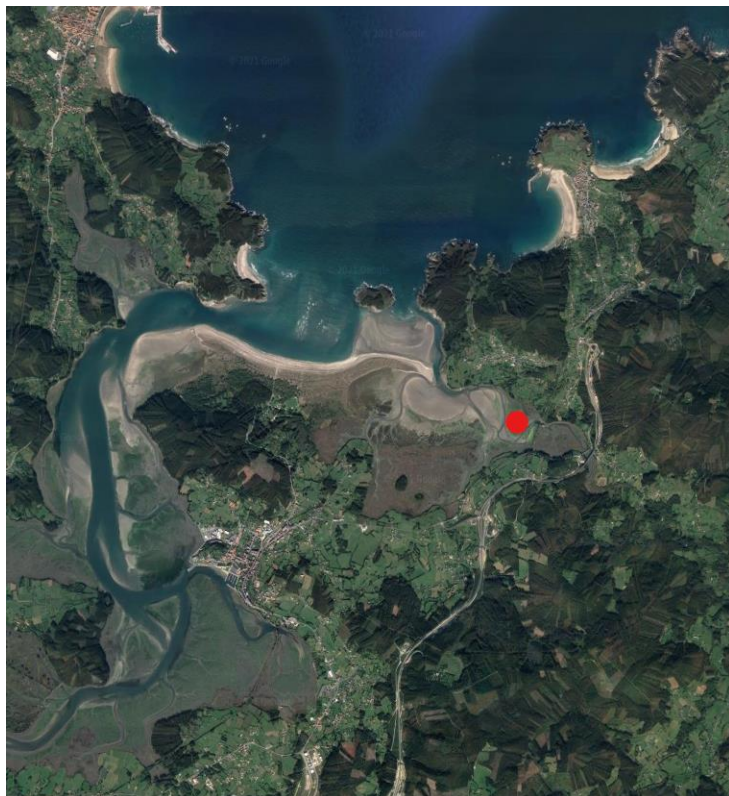


Figura 25. Punto de muestreo de la ría de Ortigueira.

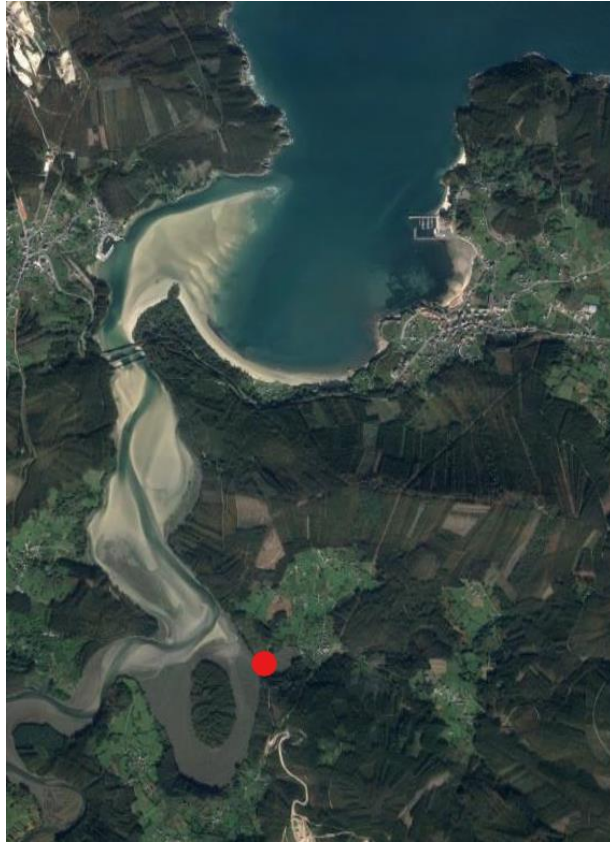


Figura 26. Punto de muestreo de la ría de O Barqueiro.



Figura 27. Punto de muestreo de la ría de Viveiro.



Figura 28. Punto de muestreo de la ría de Foz.

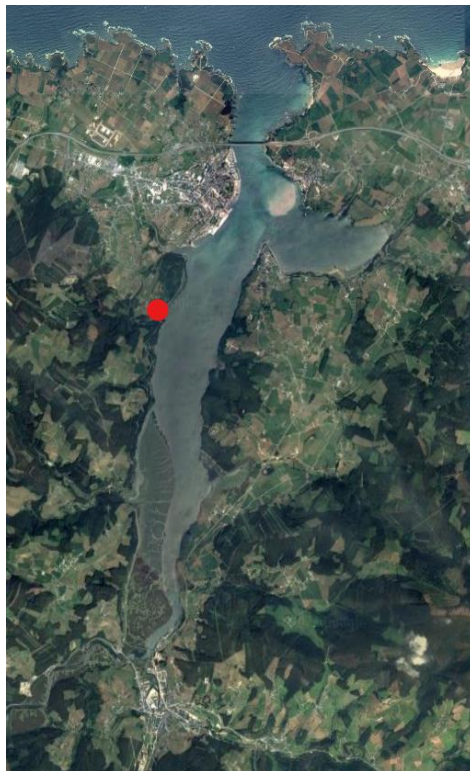


Figura 29. Punto de muestreo de la ría de Ribadeo.