

**ASENTAMIENTO DE INVERTEBRADOS MARINOS EN
COLADAS VOLCÁNICAS CON DIFERENTES EDADES, ISLA
DE LA PALMA**

**SETTLEMENT OF MARINE INVERTEBRATES IN DIFFERENT
YEARS OLD LAVA FLOWS, LA PALMA ISLAND**



Trabajo de Fin de Grado

LORENA MÉNDEZ HERNÁNDEZ

Tutorizado por José Carlos Hernández e Iván Cano Pérez

Grado en Biología. Julio 2024

Agradecimientos

Agradezco a la Universidad de La Laguna y, en especial, a mis tutores José Carlos Hernández e Iván Cano Pérez por la ayuda que me han procurado durante la realización de este trabajo de fin de grado. También agradecer a Sara González Delgado su ayuda a la hora de realizar los análisis estadísticos y a Aitor Ugena por compartir algunas de las fotografías de los individuos de este estudio.

Contenido

Resumen	3
Abstract	3
Introducción	4
Objetivos	7
Material y Métodos	8
Resultados	12
Discusión	15
Conclusiones	17
Conclusions	17
Bibliografía	18

Resumen

Las islas Canarias han sufrido numerosas erupciones volcánicas, afectando drásticamente la vida marina debido a la destrucción de hábitats y cambios en las condiciones del agua, esto da lugar a la sucesión primaria donde las nuevas comunidades colonizan las áreas afectadas. En el presente trabajo se estudia la sucesión primaria, mediante muestreo y el posterior análisis en el laboratorio del asentamiento de invertebrados marinos en coladas con distintas edades de la isla de La Palma. Las coladas estudiadas fueron: Cumbre Vieja 1 año; San Juan 73 años; Jedey 473 años. Las principales diferencias que se encontraron entre las coladas fueron la presencia de ciertos grupos representativos como los copépodos, los tanaidáceos, moluscos, etc. Por lo que se ha podido comprobar que el aporte larvario difiere entre coladas debido a la madurez de estas.

Abstract

The Canary Islands have suffered numerous volcanic eruptions, drastically affecting marine life due to the destruction of habitats and changes in water conditions, resulting in primary succession where new communities colonise/colonize the affected areas. In the present work, primary succession is studied by sampling and subsequent laboratory analysis of the settlement of marine invertebrates in lava flows of different ages on the island of La Palma. The lava flows studied were: Cumbre Vieja 1 year old; San Juan 73 years old; Jedey 473 years old. The main differences found between the lava flows were the presence of certain representative groups such as copepods, tanaidaceans, mollusks, etc. Thus, it has been possible to prove that the larval contribution differs between washes due to the maturity of these.

Introducción

El archipiélago canario, situado a 108 Km de la costa africana (Rodríguez, 2024), es un conjunto de islas volcánicas que, desde su emersión, se ha visto afectado por diversas erupciones volcánicas. Durante los últimos miles de años, casi todas las islas del archipiélago canario han experimentado numerosos eventos volcánicos, exceptuando La Gomera y Gran Canaria. Aunque estos eventos parecen dispersos en el espacio y el tiempo y presentan una gran variedad de formas, no son fenómenos aislados ni puntuales. Al contrario, muestran conexiones con las áreas donde ocurren, indicando que son parte de un proceso continuo en la evolución morfoestructural del archipiélago (Romero Ruiz, 1990).

En los últimos 500 años se han registrado 16 erupciones distribuidas entre las islas de Tenerife, La Palma, Lanzarote y el Hierro, y en los últimos 60 años ha habido entre 50 y 80 erupciones volcánicas submarinas, localizadas tanto en zonas profundas, como en zonas someras (Geyer, 2022). Por lo que las erupciones son más frecuentes de lo que pudiéramos pensar. Sin embargo, los datos que se tienen acerca de las erupciones marinas son limitados.

Las erupciones submarinas suelen ocasionar un fuerte impacto en la vida marina. Estos eventos han demostrado provocar la destrucción total de hábitats complejos como praderas de vegetales marinos o arrecifes de coral (Geyer & Martí, 2022). Este proceso destructivo puede ocurrir tanto mediante el contacto directo de los materiales incandescentes con la flora y fauna marina, como mediante procesos indirectos como el aumento de la temperatura del agua, o la liberación de gases y partículas. En cualquier caso, el resultado de estas erupciones suele desencadenar un fuerte impacto sobre las comunidades marinas. Por ejemplo, durante la erupción del Tajogaite en La Palma, la lava se introdujo en el océano, se formaron deltas de lava, conocidos como “fajanas” (Ancochea *et al.*, 2023), modificando el ambiente físico y las corrientes oceánicas locales (Ancochea *et al.*, 2023)

Tras este tipo de erupciones volcánicas, no sólo cambian las propiedades físicas del sistema, sino que también se ven afectadas las propiedades químicas de las zonas circundantes. Por ejemplo, la salinidad decrece, hay variaciones en el pH, incremento de la temperatura, la disminución de O₂ y el aumento de nutrientes inorgánicos (Fraile Nuez *et al.*, 2012). Utilizando como ejemplo lo ocurrido en el Mar de Las Calmas en el Hierro durante el año 2011 (Sangil, 2013), los mayores impactos que afectaron a las poblaciones y comunidades de organismos no fueron por el contacto directo de los materiales sólidos emitidos por el volcán, sino por cambios en las propiedades fisicoquímicas del agua, como el incremento de la acidez del agua debido a las altas emisiones de CO₂ que afectó a las comunidades de macroalgas cercanas (Romero Ruiz, 1990).

Estos eventos volcánicos dan pie a la realización de investigaciones centradas en evaluar la magnitud del impacto sobre la fauna y flora a nivel submarino, así como para poder predecir su evolución. Un estudio relevante que queremos destacar es el de Hernando (2021), que examina cómo estas erupciones afectan los ecosistemas marinos. Algunas de las comunidades afectadas por el vulcanismo y estudiadas en Canarias son las de macroalgas (Sangil, 2013; Sangil *et al.*, 2024), las comunidades de invertebrados y las comunidades de peces (Hernández *et al.*, 2006). A pesar de los efectos deletéreos que tienen las erupciones en el ecosistema marino, la vida en los océanos tiene una gran resiliencia e inmediatamente después de que las coladas de lava se enfrían, las especies comienzan a colonizar nuevamente la zona afectada, dando lugar a un proceso conocido como sucesión primaria. Estos fenómenos de sucesión primaria a gran escala son poco habituales en los océanos, por lo que la aparición de las erupciones volcánicas submarinas representa una gran oportunidad para el estudio de los procesos de asentamiento de estas nuevas comunidades marinas. Con el tiempo, se desarrollan hábitats más complejos, como corales y/o esponjas y macroalgas, promoviendo una mayor diversidad de especies y relaciones ecológicas. Este proceso se diferencia de la conocida como sucesión secundaria donde las comunidades se recuperan gracias a especies residentes que lograron sobrevivir al impacto, o del aporte de otras comunidades (Prach & Walker, 2019). Durante la sucesión en los estadios tempranos hay un aumento de producción primaria por los organismos autótrofos, además a lo largo del tiempo tiene lugar un incremento de las interacciones entre las especies que compiten por el espacio y los recursos. En general la complejidad del sistema y la resistencia a perturbaciones aumentan mientras ocurre la sucesión. Los procesos de sucesión primaria y secundaria pueden llevar varias décadas, pero eventualmente conducen a la formación de ecosistemas marinos estables y diversos (Santana *et al.*, 1996; Odum, 1971; Prach *et al.*, 2011).

En este sentido es de esperar que los invertebrados marinos sean unos de los primeros colonizadores tras este tipo de impactos, debido a su alta tasa reproductiva, a su ciclo de vida usualmente rápido y a su alta capacidad de dispersión. Estos organismos contribuyen a la estructura y biodiversidad de los ecosistemas desempeñando funciones como descomponedores, reguladores de poblaciones, además de ser la fuente de alimento principal para numerosos organismos marinos (Calcagno, 2014). Por ejemplo, cabe resaltar el papel de los erizos que controlan las comunidades de algas, o de los sipuncúlidos que mezclan y mueven los sedimentos (bioturbación), ayudando a la descomposición de la materia orgánica. Otros invertebrados relevantes son los isópodos, que tienen un papel muy importante como detritívoros, depredadores, parásitos de otras especies (Schmalfuss, 2003); los tanaidáceos, que aparte de servir como alimento para otros depredadores también tienen un papel fundamental como bioindicadores ambientales (Bamber, 2008), los anélidos que intervienen en la biodegradación y reciclaje, también producen cambios en el sustrato y el sedimento tratándose de un grupo con gran influencia en la biodiversidad y estructura de las comunidades (Rouse & Pleijel, 2001). Finalmente,

los copépodos, herbívoros esenciales en las redes tróficas acuáticas, desempeñan un papel crucial como reguladores del fitoplancton. Además, sirven de alimento para niveles tróficos superiores, reciclan nutrientes y actúan como excelentes bioindicadores (Harris *et al.*, 2000). Pese a la importancia objetiva de todos estos grupos de invertebrados, no hay apenas estudios que evalúen el aporte larvario de estos organismos a las zonas marinas afectadas por las erupciones volcánicas.

En este contexto, el presente trabajo pretende realizar una primera aproximación a la colonización primaria por parte de las principales familias de invertebrados a las coladas submarinas del volcán Tajogaite. Además, se pretende establecer una comparativa de asentamiento de invertebrados entre esta nueva colada y las coladas adyacentes con diferentes edades. Esto puede ayudar a comprender cómo el aporte larvario puede variar dependiendo del tiempo transcurrido desde la formación de la colada y la influencia de la comunidad actual.

Objetivos

El objetivo de este estudio es realizar una comparativa del asentamiento de invertebrados marinos en 3 coladas de diferentes edades de la isla de La Palma (Cumbre Vieja 1 año; San Juan 73 años; Jedey 473 años; en el momento del estudio la de 1 año tenía 0 años). Se aportan los datos brutos de asentamiento por si son de utilidad para futuros estudios en estas zonas.

Material y Métodos

Área de estudio

Al noroeste del continente africano, con una latitud norte 27° 39' - 29° 24' y una longitud oeste de 13° 25' - 18° 10', se encuentra el Archipiélago Canario, el cual está formado por un conjunto de siete islas (Tenerife, El Hierro, La Gomera, La Palma, Gran Canaria, Fuerteventura y Lanzarote) además de unos islotes de gran tamaño (La Graciosa, Alegranza, Montaña Clara e Isla de Lobos) al norte de Lanzarote y Fuerteventura.

En cuanto a la estructura de los ecosistemas marinos canarios hay que tener en cuenta que las islas presentan una longitud de costa de 1.291Km y que sólo poseen 2.256 Km² de plataforma costera con una profundidad de hasta 50 metros, la cual es la zona óptima para el desarrollo de los fotoproductores de fondo. En función de la extensión de la plataforma insular que es diferente para cada isla la producción se ve limitada a su vez reduciendo la superficie habitable para las especies litorales. En el caso de La Palma hay puntos donde los 200 metros de profundidad se encuentran a tan solo 200 metros de la costa.

Por otro lado, las aguas que rodean el archipiélago son oceánicas y oligotróficas, es decir, aguas con menor cantidad de nutrientes, que se enriquecen gracias a los aportes esporádicos del afloramiento sahariano o afloramientos locales relacionados con fenómenos oceanográficos mesoescalares como los giros ciclónicos (Hernández *et al.*, 2013). Todo esto contribuye a limitar la capacidad productiva de estos ecosistemas marinos. Nos encontramos ante unos ecosistemas litorales que están bastante diversificados, originales, frágiles y vulnerables por las bajas densidades de especies y las complejas interrelaciones existentes entre las mismas.

El presente trabajo se realizó en la isla de La Palma, localizada en el extremo más noroccidental del archipiélago, ubicada frente a la costa del Sáhara Occidental, coordenadas: 28°40'00" N y 17°52'00" O. Se tomaron muestras de tres localidades diferentes según la antigüedad de las coladas de lava submarinas. La más antigua, con 500 años en la localidad de Jedey, la de 75 años en San Juan y finalmente la más reciente, con 1 año en Cumbre vieja (Figura 1).

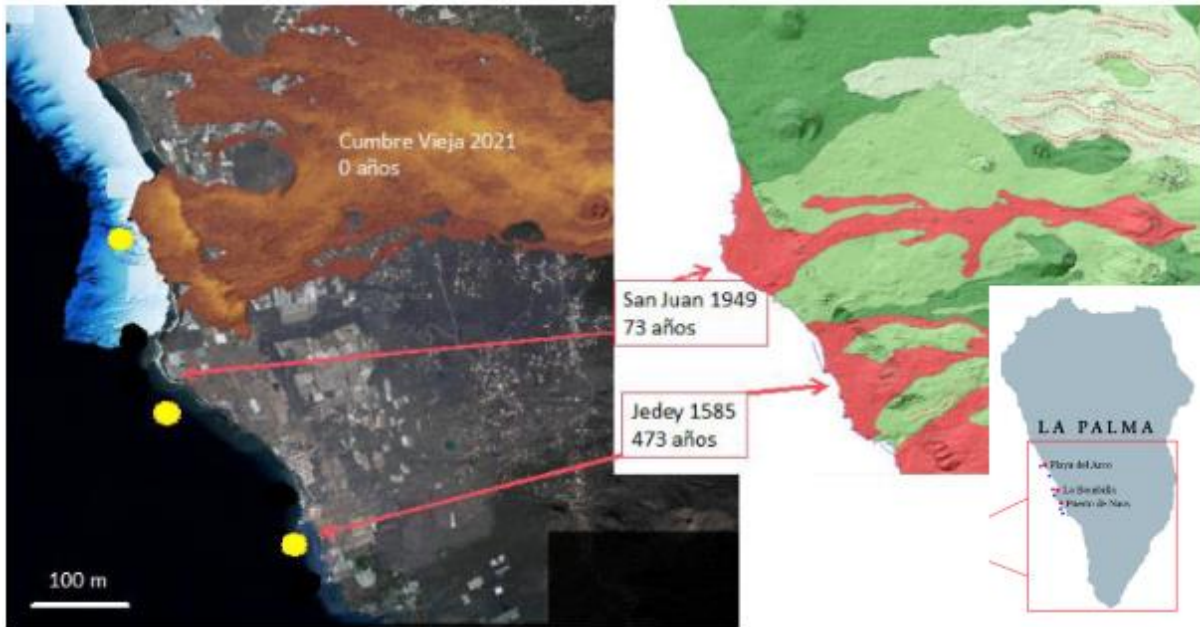


Figura 1. Localización de las coladas de lava objeto de estudio. Los puntos amarillos señalizan las estaciones de muestreo de asentamiento de invertebrados.

Estudio del asentamiento larvario

El asentamiento larvario en las diferentes coladas de lava se ha podido estudiar por el uso de colectores artificiales. La técnica empleada en este estudio se basa en los experimentos pioneros de Keesing *et al* (1993). En nuestro estudio, se utilizó un diseño innovador con los colectores artificiales, se puso un contenedor con señales químicas o “cores” y “biobolas” pegadas alrededor, este contenedor lo compone una esfera plástica con un diámetro de 7,5 cm con dos partes que se pueden separar fácilmente y una superficie con perforaciones que facilita la propagación de la señal química al medio (Figura 2).

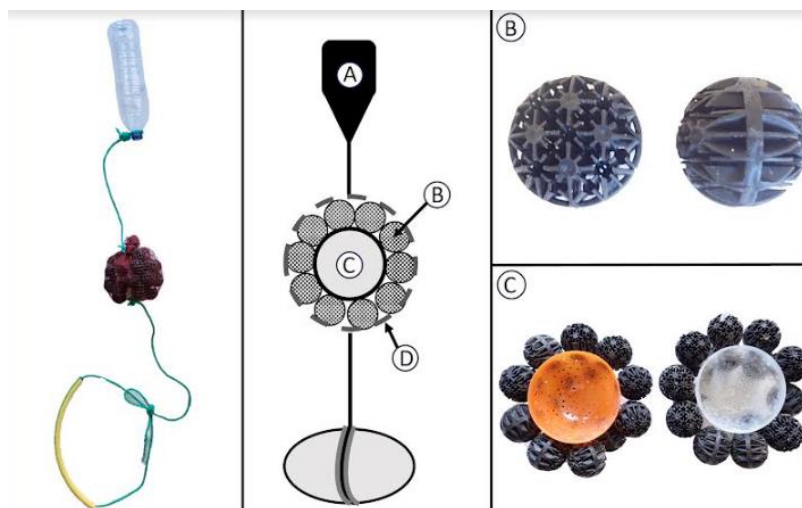


Figura 2. Foto y esquema de un colector artificial completo que muestra: **A.** Boya de flotabilidad; **B.** Biobola plástica de alta superficie; **C.** Vista transversal del colector artificial mostrando el contenedor de plástico para algas o "Núcleo"; y **D.** Red de plástico.

Las "biobolas" consta de una superficie de $0,04\text{m}^2$, la cual está maximizada por los pliegues en su interior donde se crean zonas de oscuridad que fomenta el asentamiento larvario y su transformación en juveniles posteriormente (Hernández *et al.*, 2006). En cada contenedor se fijaron con silicona treinta "biobolas", quedando quince en cada mitad. Para evitar su posible pérdida se metió cada colector en un doble saco de malla de nylon. Además, para garantizar la flotabilidad del colector se ataron dos cuerdas de plástico trenzadas, la más corta (de unos 15 cm de longitud) atada a una boya y la más larga (de unos 50 cm de longitud) recubierta con una manguera de plástico para protegerla frente a la abrasión se ancló al sustrato rocoso.

Los colectores artificiales se instalaron durante el mes de septiembre de 2022, varios meses después de la erupción de 2021, mediante buceo autónomo a una profundidad de 10 metros y manteniendo una separación mínima de 10 metros aproximadamente. Pasado los 30 días sumergidos, se recogieron los colectores cortando las cuerdas que los mantenían anclados al fondo rocoso y para impedir la pérdida de material se evitó agitarlos todo lo posible. Para trasladarlos al laboratorio y ponerlos en sus cajas individuales se transportaron en bolsas de plástico.

Procesado de las muestras de los colectores

La información recogida de las muestras se basó en determinar la presencia y la cantidad de los distintos grupos de organismos encontrados, tras lo cual se podrán realizar cálculos de diversidad según las diferentes fórmulas elegidas.

En el laboratorio se sacaron los colectores de las bolsas y se retiraron las mallas, las "biobolas" de los contenedores y se abrieron las dos partes, todo con sumo cuidado para no perder material. Para asegurar la recolección de todos los organismos se utilizó agua a presión con una sulfatadora de 10 litros y se retiraron los posibles organismos adheridos a las "biobolas". Se utilizó un tamiz de malla de 100 μm para realizar el proceso de tamizado. Al terminar se pasó el sedimento obtenido a botes de muestra individuales que contienen un volumen similar al del sedimento con etanol al 70%.

Para analizar el sedimento, se utilizó una lupa binocular modelo Leica EZ4, y placas de cristal con etanol al 70% para depositar pequeñas muestras, recolectadas con una cuchara de plástico. Con la ayuda de pinzas, se separaron y contabilizaron los diferentes organismos, clasificándolos a nivel de familia. Una vez clasificados, se colocaron en frascos pequeños con etanol al 70% y se etiquetaron para su posible uso en estudios futuros.

Análisis estadístico

Se hizo un análisis estadístico de diversidad de los taxones superiores entre las tres coladas de estudio (la de 1 año, la 75 y la de 500), donde se estudió la varianza basada en un total de 9999 permutaciones. Cuando el factor colada resultó significativo, se realizó un análisis Post-hoc por pares para ver qué niveles del factor “Colada” difieren estadísticamente entre sí. Además, se realizó un ordenamiento multidimensional o MDS para evaluar el grado de similitud entre las muestras, así como determinar que grandes grupos de invertebrados fueron los responsables de las diferencias observadas.

Para la realización de dichos análisis se hizo uso del software PRIMER 7 & PERMANOVA (Anderson *et al.*, 2008).

Resultados

Debido a las condiciones meteorológicas adversas ocurridas tras la instalación del presente experimento, perdimos 5 colectores de larvas, por lo que recuperamos 12 de un total de 18. En la localidad de la colada de 500 años se consiguió recoger los tres colectores de control y los tres de CCA, sin embargo, en la colada de 75 y de 1 año solo se consiguió un colector de control y dos de CCA. En total, en los colectores recuperados se encontraron 7 grupos funcionales repartidos entre las tres coladas del volcán (Tabla 1; Figura 3).

Diversidad de familias encontradas

El análisis estadístico reveló la presencia de diferencias estadísticamente significativas en el asentamiento larvario para el factor fijo "Colada" ($p=0,001$). El análisis posthoc, reveló que estas diferencias se encontraban entre la colada de 1 año y la de 500 años ($p=0,006$) y entre la de 75 años y 500 años ($p=0,006$), mientras que no se encontraron diferencias de aporte larvario entre las coladas de 1 año y 75 años ($p=0,031$)

Tabla 1. a) Resultados del análisis de varianza por permutaciones de la comunidad de invertebrados para el factor fijo "Colada" (Co) y **b)** Resultados del análisis post-hoc al comparar el aporte larvario entre las diferentes coladas. Se resaltan en negrita aquellos factores que resultaron significativos ($p < 0,05$).

a)

Source	df	SS	MS	Pseudo-F	P(perm)	perms	P(MC)
Co	2	1445,2	722,600	5,653	0,001	6074	0,001
Res	9	1150,6	127,840				
Total	11	2595,8					

b)

Groups	t	P(perm)	perms	P(MC)
1 Año, 75 Años	21,953	0,101	107	0,031
1 Año, 500 Años	25,505	0,012	844	0,006
75 Años, 500 Años	22,646	0,012	844	0,006

El MDS reveló que existe una mayor abundancia de sipuncúlidos en la colada de 75 años, mientras que los grupos funcionales más representativos de la colada de un año son los copépodos y tanaidáceos. Por otra parte, la colada de 500 años presentó un mayor asentamiento de invertebrados como moluscos, anélidos y ofiuroideos) (Figura 3).

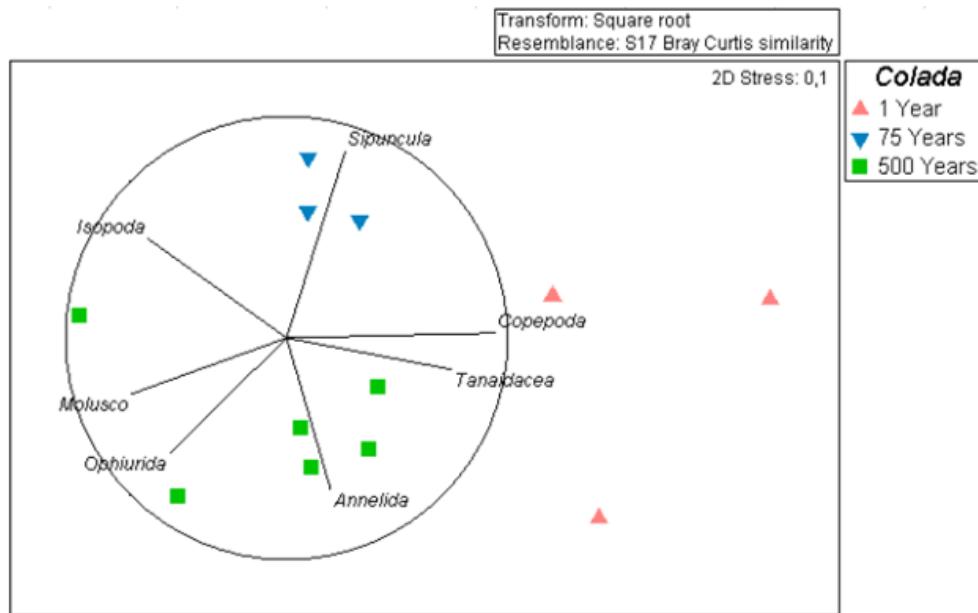


Figura 3. Ordenación MDS de la colada de 1 año, de 75 años y de 500 años. Los vectores indican los filos más representativos; los puntos son las coladas que más se relacionan con esos vectores.

Registro fotográfico de algunos de los invertebrados asentados en las diferentes u encontrados.

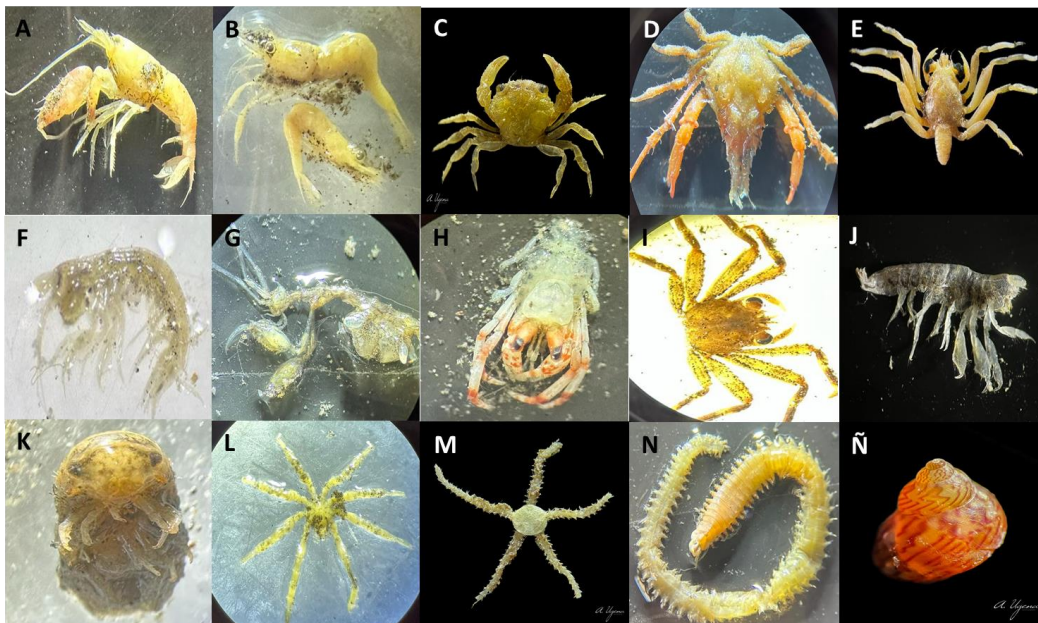


Figura 4. Familias : A) Alpheidae; B) Hippolytidae; C) Xanthidae; D) Epialtidae; E) Grapsidae; F) Gammaridae; G) Caprellidae; H) Paguridae; I) Percnidae; **Órdenes:** J) Tanaidacea; K) Isopoda; **Clases:** L) Pycnogonida; M) Ophiura; **Filos:** N) Annelida; Ñ) Molusco

Nota: Fotografías C,E,J,M y Ñ aportadas por Aitor Ugena

Tabla 2. Abundancias promedio y desviación estándar de los diferentes grupos taxonómicos de invertebrados por colada.

	Colada 1	Colada 75	Colada 500
Alpheidae	14 ± 2	19,33 ± 3,79	55,83 ± 13,36
Hippolytidae	7,33 ± 6,66	5,33 ± 1,53	55,83 ± 3,93
Xanthidae	38,67 ± 2,08	28,67 ± 11,59	25 ± 3,90
Epialtidae	0,33 ± 0,58	1 ± 1	2,33 ± 1,51
Grapsidae	3,33 ± 2,08	5 ± 1,73	8,67 ± 3,78
Gammaridae	108,67 ± 129,64	50,33 ± 17,62	77,5 ± 28,49
Caprellidae	12 ± 20,78	29,67 ± 30,86	10,33 ± 8,64
Paguridae	0 ± 0	0 ± 0	0,17 ± 0,41
Percnidae	1,67 ± 0,58	0,67 ± 1,15	2,5 ± 1,76
Tanaidacea	71,67 ± 55,51	8 ± 1	24,5 ± 10,25
Isopoda	0 ± 0	4,67 ± 1,15	1,67 ± 2,25
Pycnogonida	10,33 ± 9,29	8 ± 3,51	5,17 ± 3,92
Copepoda	60 ± 11,36	29 ± 1,15	13 ± 12,95
Sipuncula	0,67 ± 0,58	2 ± 1	0 ± 0
Ophiura	0 ± 0	0 ± 0	1,17 ± 1,17
Annelida	151,67 ± 57,81	98 ± 33,15	149,33 ± 68,68
Molusco	1,67 ± 1,53	8,67 ± 3,51	22,83 ± 5,19
<i>Arbacia lixula</i>	0 ± 0	0,33 ± 0,58	0 ± 0
<i>Cronius ruber</i>	0 ± 0	0,33 ± 0,58	0 ± 0

Discusión

Se ha determinado que el factor tratamiento no mostró diferencias significativas, solo el factor colada. En este estudio, se ha comprobado que las señales químicas de las coralinas (presentes en los colectores con tratamiento) no influyen en el asentamiento larvario. Futuras investigaciones podrían evaluar la influencia de otras algas, como *Lobophora* u otras especies comunes en los fondos someros de Canarias. Gracias a los resultados del análisis post-hoc se ha podido ver que no hay diferencia significativa entre la colada de 1 año y la de 75 años; en cambio, entre la de 1 año y 500 años sí hay, siendo la principal diferencia la presencia de copépodos y tanaidáceos. En cuanto a estas especies puede ser que se encuentren en mayor cantidad o que se trate de especies prácticamente únicas en cuanto a su abundancia relativa en la colada de 1 año, mientras que en la de 500 hay muy pocas o apenas están presentes. Entre la colada de 75 años y la de 500 también hay diferencias significativas, los moluscos, las ofiuras y los anélidos son más abundantes en la colada de 500 años mientras que la de 75 años no se encuentran apenas, pero éstas sí se caracterizan por tener muchos sipuncúlidos.

Parece, según los resultados, que el hecho de que haya diferencia entre la colada de 1 año y la de 500, pero que no la haya entre la de 1 año y 75 quiere decir que la colada de 500 años es más madura, y que hay mayor número de invertebrados que entran y se asientan en el lugar, ya que al ser una zona menos perturbada hay un aporte de nuevas generaciones más diversos, además de contar con más sedimentos debido al paso del tiempo. La madurez del ecosistema se alcanza después de los 75 años en cuanto a un aporte larvario según los resultados obtenidos.

Es curioso que apenas se encuentran estrellas de mar, cangrejos u otros depredadores en las etapas iniciales de la sucesión ecológica. Las primeras en establecerse son las especies pioneras, que suelen ser microscópicas, pero desempeñan un papel crucial al crear un hábitat adecuado para otras especies. Estas pioneras, a través de su actividad, preparan el terreno para la colonización de especies vegetales, que aportan materia orgánica al ambiente. Esto, a su vez, facilita el establecimiento de especies que consumen esta materia orgánica. La aparición y desaparición de especies a lo largo del proceso de sucesión promueve cambios en la biocenosis y el biotopo, conduciendo eventualmente a un ecosistema más complejo (Gili *et al.*, 2018). Un ejemplo es la erupción del volcán de Kilawea en el año 2018, cuando la lava llegó al mar se elevó la temperatura, haciendo que los nutrientes del fondo marino ascendieran a la superficie y, gracias a ello, las algas conformadas por fitoplancton afloraron también en la superficie enriqueciendo la fauna y flora marina (Wilson *et al.*, 2019).

Es importante tener en cuenta que el área afectada por la erupción puede haber experimentado varios cambios durante los procesos eruptivos debido a las aguas anómalas, las corrientes y los vientos dominantes. Otro factor importante es la depredación, que pudo influir en las diferencias de asentamiento observadas entre colectores. Por ejemplo, las notables abundancias de copépodos presentes en la colada de un año (Figura 3), podrían deberse a la carencia de depredación por parte de organismos ausentes en los colectores de larvas de esta en esta colada como las ofiuras (Ambrose, 1993) o algunas especies de anélidos (Costa *et al.*, 2006). Los cambios drásticos en el ecosistema local, tras una erupción submarina, afectan la disponibilidad de hábitats adecuados para el asentamiento larvario. La depredación puede reducir la competencia entre larvas, influir en la composición de la comunidad y afectar la diversidad de especies. La presencia y abundancia de depredadores, así como la creación de refugios en nuevas formaciones geológicas, son factores cruciales para la supervivencia y asentamiento de las larvas. La depredación es un factor clave en el establecimiento de comunidades en áreas afectadas por erupciones submarinas. En definitiva, la sucesión ecológica, la disponibilidad y estabilidad de hábitats, la presencia de depredadores y competidores, y las condiciones ambientales específicas de cada periodo temporal, influyen en la estructura y composición de estas comunidades. Además, la dinámica de colonización por larvas y las interacciones bióticas entre especies contribuyen a la diversidad y complejidad de los ecosistemas marinos en evolución. Estos factores interactúan de manera compleja, resaltando la importancia de considerar múltiples variables para entender y gestionar adecuadamente los ecosistemas afectados por erupciones submarinas.

También debemos señalar que no se trata de un muestreo anual sino puntual, por lo que puede que haya especies que se estén reproduciendo en fechas diferentes al muestreo realizado en este estudio, además, a parte esto se puede ver influenciado por la vertiente, ya que, aunque el muestreo se realizó en La Palma se hizo en la cara oeste y suroeste. Además, hay que tener en cuenta la pérdida de réplicas en la colada de 1 año y la de 75. Esta pérdida se puede deber al oleaje local controlado por los alisios o el mar de fondo generado por las tormentas lejanas que se ciernen sobre el Atlántico. Cabe la posibilidad de que al haber recogido los 18 colectores se hubiese podido obtener una diferencia significativa entre los tratamientos planteados.

Basándonos en nuestros datos podemos decir que la colada de 1 año aún no ha alcanzado la madurez oportuna y además por el aporte larvario que se ha estudiado se puede ver que se tratará de una colada indiferenciada del resto zonas, se debe tener en cuenta que las comunidades de peces pueden cambiar. El tiempo desde que se produce una sucesión hasta que la comunidad ya presenta un alto grado de madurez es muy variable. En el caso del presente estudio podríamos suponer que se alcanza la madurez a partir de los 75 años aproximadamente y esto influye en que el aporte larvario difiera entre las coladas de estudio.

Conclusiones

Podemos concluir basándonos en este estudio que:

1. En relación a la diversidad de invertebrados bentónicos, la madurez de una colada volcánica se alcanza a partir de los 75 años de antigüedad.
2. Hay mayor diversidad de invertebrados asentados en las zonas donde el tiempo ha hecho del lugar una zona enriquecida en especies.
3. La representatividad de ciertas especies pioneras marcan diferencias entre las coladas. Siendo los copépodos y tanaidáceos más abundantes en la colada de 1 año, los sipuncúlidos en la de 75 y los moluscos, anélidos y ofiuroideos en la de 500.

Conclusions

We can conclude, based on this study, that:

1. In relation to the diversity of benthic invertebrates, the maturity of a volcanic eruption is reached after 75 years of age.
2. There is a greater diversity of invertebrates in areas where time has made the site richer in species.
3. The representativeness of certain pioneer species marks the differences between the lava flows. Copepods and tanaidaceans are more abundant in the 1 year old wash, sipunculids in the 75 year old wash and molluscs, annelids and ophiuroids in the 500 year old wash.

Bibliografía

- Ambrose Jr, W. G. (1993). Effects of predation and disturbance by ophiuroids on soft-bottom community structure in Oslofjord: results of a mesocosm study. *Marine ecology progress series*. Oldendorf, 97(3), 225-236.
- Ancochea E., Sangil C. et al., Medina F. M et al., D'Auria L., Pérez N. M. (2023). Instituto Español de Estudios Canarias (IEHC). Tajogaite: Enseñanzas de una erupción volcánica. XVIII Simposio de la Ciencia y Tecnología de las Canarias. Recuperado de https://iehcan.com/wpcontent/uploads/2023/11/Tajogaite_Ensenanzas_de_una_erupcion_volcanica_XVIII_SCTB_2023_color.pdf
- Anderson, M., Gorley, R. N., & Clarke, K. (2008). PERMANOVA+ for primer: Guide to software and statistical methods. En *Plymouth: Primer-E*. https://www.researchgate.net/publication/285237419_PERMANOVA_for_primer_Guide_to_software_and_statistical_methods
- Anguita, F., & Hernan, F. (1975). A propagating fracture model versus a hot spot origin for the Canary islands. *Earth and Planetary Science Letters*, 27(1), 11-19. [https://doi.org/10.1016/0012-821X\(75\)90155-7](https://doi.org/10.1016/0012-821X(75)90155-7)
- Bamber, Roger N. (2008), Tanaidaceans (Crustacea: Peracarida: Tanaidacea) from Moreton Bay, Queensland. <https://www.biodiversitylibrary.org/part/260701>
- BOTMAR-ULL (2022). La ULL estudia la colonización marina de los deltas lávicos en La Palma. *ULL - Noticias*. <https://www.ull.es/portal/noticias/2022/ull-estudian-lcolonizacion-marina-deltas-lavicos/>
- Calcagno, J. A. (2014). “Los invertebrados marinos” <https://www.fundacionazara.org.ar/img/libros/invertebrados-marinos.pdf>
- Cano Santana, Z., Meave, J. (1996). Sucesión primaria en derrames volcánicos: el caso del Xitle. *Ciencias*, núm. 41, enero-marzo, pp. 58-68. <https://www.revistacienciasunam.com/en/148-revistas/revista-ciencias-41/1227-sucesi%C3%B3n-primaria-en-derrames-volc%C3%A1nicos-el-caso-de-xitle.html>
- Clemente, S., Lorenzo-Morales, J., Mendoza, J. C., López, C., Sangil, C., Alves, F., Kaufmann, M., & Hernández, J. C. (2014). Sea urchin *Diadema africanum* mass mortality in the subtropical eastern Atlantic: Role of waterborne bacteria in a warming ocean. *Marine Ecology Progress Series*, 506, 1-14. <https://doi.org/10.3354/meps10829>
- Costa, P. F., Oliveira, R. F., & Fonseca, L. C. D. (2006). Feeding ecology of *Nereis diversicolor* (OF Müller)(Annelida, Polychaeta) on estuarine and lagoon environments in the southwest coast of Portugal. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*, 104-113. https://www.researchgate.net/publication/232041560_Feeding_Ecology_of_Nereis_diversicolor_OF_Muller_Annelida_Polychaeta_on_Estuarine_and_Lagoon_Environments_in_the_Southwest_Coast_of_Portugal
- CSIC. (2010). *El mar a fondo*. Recuperado de https://elmarafons.icm.csic.es/wp-content/uploads/2018/04/gu%C3%ADa-actividad-colonizaci%C3%B3n_red.pdf
- Fraille-Nuez, E., González-Dávila, M., Santana-Casiano, J. M., Arístegui, J., Alonso-González, I. J., Hernández-León, S., Blanco, M. J., Rodríguez-Santana, A., Hernández-Guerra, A., Gelado-Caballero, M. D., Eugenio, F., Marcello, J., de Armas, D., Domínguez-Yanes, J. F., Montero, M. F., Laetsch, D. R., Vélez-Belchí, P., Ramos, A., Ariza, A. V., ... Benítez-Barrios, V. M. (2012). The submarine volcano eruption at the island of El Hierro: Physical-chemical perturbation and biological response. *Scientific Reports*, 2(1), 486. <https://doi.org/10.1038/srep00486>

- Geyer, A., & Martí, J. (2022). *Volcanism in the Canary Islands: Lessons learned from the 2021 eruption of La Palma*. *Volcanology Journal*.
- Gizzi, F., Jiménez, J., Schäfer, S., Castro, N., Costa, S., Lourenço, S., & Monteiro, J. (2020). *Before and after a disease outbreak: Tracking a keystone species recovery from a mass mortality event*. *Marine Environmental Research*, 104905. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2020.104905>
- Gobierno de Canarias. (s. f.). Ecosistemas marinos. Recuperado de <https://www.gobiernodecanarias.org/medioambiente/materias/biodiversidad/biodiversidad-canaria/ecosistemas-marinos/>
- González González, E. (2022). Estudio de la influencia de las señales químicas en el asentamiento del erizo clave *Diadema africanum* (Rodríguez et al., 2013) mediante el uso de colectores de larvas. Tesis doctoral Universidad de La LL <https://riull.ull.es/xmlui/handle/915/28468>
- Harris, R. P., Wiebe, P. H., Lenz, J., Skjoldal, H. R., & Huntley, M. (Eds.). (2000). *ICES Zooplankton Methodology Manual*. Academic Press https://www.researchgate.net/publication/224744107_ICES_Zooplankton_Methodology_Manual
- Hernández, J. C. (2017). Influencia humana en las fluctuaciones poblacionales de erizos de mar. *Revista de Biología Tropical*, 65(23), 10.15517/rbt.v65i1-1.31663. <https://doi.org/10.15517/rbt.v65i1-1.31663>
- Hernández, J. C., & Clemente, S. (2013). Reservas marinas, cambio climático y catástrofes naturales: El caso del Mar de Las Calmas en la isla de El Hierro. En *El Hierro. Nacimiento de un volcán* (115-134). Recuperado de <https://iehcan.com/wp-content/uploads/2013/11/Libro-JTB-2013-para-web.pdf>
- Hernández, J. C., Clemente, S., Sangil, C., & Brito, A. (2008). Actual status of the sea urchin *Diadema aff. Antillarum* populations and macroalgal cover in marine protected areas compared to a highly fished area (Canary Islands—Eastern Atlantic Ocean). *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 18, 1091-1108. <https://doi.org/10.1002/aqc.903>
- Hernández, J.C., Hernández, C. A., González D. S., Mendoza, J. C, Alfonso, B., Sangil, C., (2006). "El vulcanismo y el estudio de la vida marina en las islas Canarias" <https://www.ull.es/portal/cienciaull/el-vulcanismo-y-el-estudio-de-la-vida-marina-en-las-islas-canarias/>
- Hernández, José Carlos; Brito, Alberto; Cubero, Elena; García, Nayra; Girard, Dominique; González-Lorenzo, Gustavo; Falcón, Jesús M (2006). "Temporal patterns of larval settlement of *Diadema antillarum* (Echinodermata: Echinoidea) in the Canary Islands using an experimental larval collector". Source: *Bulletin of Marine Science* <https://www.ingentaconnect.com/content/umrsmas/bullmar/2006/00000078/00000002/art00003>
- Hernando, C. (2021). "Marine biodiversity assessment post-volcanic eruption." *Marine Ecology Progress Series*
- Murawski, S. A., Wigley, S. E., Fogarty, M. J., Rago, P. J., & Mountain, D. G. (2005). Effort distribution and catch patterns adjacent to temperate MPAs. *ICES Journal of Marine Science*, 62, 1150-1167. <https://doi.org/10.1016/j.icesjms.2005.04.005>
- Myers, R. A., & Worm, B. (2003). Rapid worldwide depletion of predatory fish communities. *Nature*, 423(6937), 280-283. <https://doi.org/10.1038/nature01610>
- Odum, E. P. (1971). *Fundamentals of ecology*. Philadelphia: Saunders.
- Pérez-Ruzafa, A., Martín, E., Marcos, C., Zamarró, J. M., Stobart, B., Harmelin-Vivien, M. L., Polti, S., Planes, S., García-Charton, J. A., & Gonzalez-Wangüemert, M. (2008). Modelling spatial and temporal scales for spill-over and biomass exportation from MPAs and their potential for

- fisheries enhancement. *Journal for Nature Conservation*, 16(4), 234. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2008.09.003>
- Prach, K., & Walker, L. R. (2011). Four opportunities for studies of ecological succession. *Trends in Ecology & Evolution*, 26(3), 119-123. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2010.12.007>
- Prach, K., & Walker, L. R. (2019). Difference between primary and secondary plant succession among biomes of the world. *Journal of Ecology*, 107(2), 656-668. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13078>
- Romero Ruiz, M. del C. (1990). *Las manifestaciones volcánicas históricas del Archipiélago Canario*. <https://riull.ull.es/xmlui/handle/915/10113>
- Rodriguez, V. (2024, June 20). Canary Islands. Encyclopedia Britannica. <https://www.britannica.com/place/Canary-Islands>
- Rouse, G. W., & Pleijel, F. (2001). *Polychaetes*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0469.2004.00263.x>
- Sangil, C. (2013). *Cambios en la biodiversidad vegetal submarina del Mar de las Calmas tras la erupción volcánica de La Restinga: Una oportunidad para profundizar en el conocimiento de los ecosistemas marinos de Canarias*. (pp. 55-82). https://www.researchgate.net/publication/259647050_Cambios_en_la_biodiversidad_vegetal_submarina_del_Mar_de_las_Calmas_tras_la_erupcion_volcanica_de_La_Restinga_una_opor_tunidad_para_profundizar_en_el_conocimiento_de_los_ecosistemas_marinos_de_Canarias
- Sangil, C., Sansón, M., & Afonso-Carrillo, J. (2011). Spatial variation patterns of subtidal seaweed assemblages along a subtropical oceanic archipelago: Thermal gradient vs herbivore pressure. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 94. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2011.07.004>
- Sangil, C., Álvarez-Canali, D., Reyes, J., Rodríguez, J., & Sansón, M. (2024). Primary ecological succession of marine communities on the Tajogaite lava flows (La Palma, Canary Islands): Fishes colonize faster than macroinvertebrates and algae. *Frontiers in Marine Science*. <https://doi.org/10.3389/fmars.2024.1337894>
- Santana, C., Lugo, A., Márquez, G., & Pacheco, C. (1996). Estructura, composición y función de los ecosistemas de manglar en Venezuela: una revisión. *Interciencia*, 21(3), 135-145.
- Schmalfuss, H. (2003). World catalog of terrestrial isopods (Isopoda: Oniscidea). *Stuttgarter Beiträge zur Naturkunde, Serie A (Biologie)*, 654, 1-341.
- Sousa, W. P. (2001). Natural disturbance and the dynamics of marine benthic communities. *Marine community ecology*, 85-130.
- Wilson, S. T., Hawco, N. J., Armbrust, E. V., Barone, B., Björkman, K. M., Boysen, A. K., Burgos, M., Burrell, T. J., Casey, J. R., DeLong, E. F., Dugenne, M., Dutkiewicz, S., Dyhrman, S. T., Ferrón, S., Follows, M. J., Foreman, R. K., Funkey, C. P., Harke, M. J., Henke, B. A., ... Karl, D. M. (2019). Kīlauea lava fuels phytoplankton bloom in the North Pacific Ocean. *Science (New York, N.Y.)*, 365(6457), 1040-1044. <https://doi.org/10.1126/science.aax47>