UNIVERSIDADE DA CORUÑA

ESTUDIO DEL IMPACTO DE LA EXTRACCIÓN DE SEMILLA DE MEJILLÓN (MEXILLA) EN LAS COMUNIDADES INTERMAREALES DEL PARQUE NACIONAL DE LAS ISLAS ATLÁNTICAS DE GALICIA

Nº EXPEDIENTE: IL-A-0003/16

Fecha: 21/12/2016

Servicio demandado por: Dirección Xeral de Conservación da Natureza, Consellería de Medio Ambiente e Ordenación do Territorio, Xunta de Galicia

Cofinanciado por: Fondo Europeo para el desarrollo regional. Programa Operativo FEDER Galicia 2014-2020

Autores: *Cristina Piñeiro Corbeira, Sara Barrientos de la Llana, Javier Cremades y Rodolfo Barreiro, Grupo Biocost, Universidade da Coruña, Facultad de Ciencias, Campus da Zapateira, 15071-A Coruña* por encomienda de servicio INV07916 de la Fundación Universidade da Coruña.

Firmado digitalmente por BARREIRO LOZANO, RODOLFO (AUTENTICACIÓN)
Nombre de reconocimiento (DN): c=ES, serialNumber=32748714A, sn=BARREIRO, givenName=RODOLFO, cn=BARREIRO LOZANO, RODOLFO (AUTENTICACIÓN)
Fecha: 2016.12.22 10:41:22 +01'00'

Resumen

La extracción de semilla de mejillón de la zona intermareal es una actividad ampliamente extendida en las costas gallegas. A pesar de su carácter de zona protegida, la extracción de semilla está igualmente permitida en gran parte de la cara interna de los archipiélagos de Cíes, Ons y Sálvora del Parque Nacional sin que exista una evaluación de su impacto sobre el ecosistema litoral explotado. En este estudio, se hizo un seguimiento mensual desde mayo (fin del periodo de extracción) hasta noviembre de 2016 (en diciembre comienza de nuevo el periodo de extracción) de las características de la comunidad intermareal (cobertura, riqueza específica, diversidad, similitud Bray-Curtis) en cinco zonas control (zonas del litoral donde la extracción de semilla no está permitida) y seis zonas de explotación distribuidas a lo largo de la cara interna de los archipiélagos de Cíes (3 controles y 2 extracción), Ons (2 controles y 2 extracción) y Sálvora (2 extracción). En cada sitio, se analizó la cobertura de especies intermareales sésiles en la cintura ocupada por el mejillón usando cuadrados de 0,5 x 0,5 m en un plan de muestreo anidado con tres parcelas por sitio y 3 cuadrados por parcela. Los resultados muestran que la extracción de semilla no sólo reduce la cubierta de mejillón sino que también disminuye significativamente la cobertura del resto de especies sésiles. Además de una menor biomasa, encontramos evidencias de que las comunidades de zonas explotadas tienen menor riqueza de especies. Es más, a pesar de la considerable variabilidad detectada entre sitios de un mismo tipo de tratamiento, hay diferencias estadísticamente significativas en la estructura de la comunidad de sitios control frente a los sitios explotados. Estas diferencias se mantuvieron durante todo el periodo de estudio (mayo – noviembre) a pesar de la variabilidad estacional detectada, lo que sugiere que la comunidad no es capaz de recuperarse entre un periodo de extracción y el siguiente. En conjunto, nuestros resultados indican que la extracción de semilla de mejillón tiene un efecto negativo sobre la abundancia y diversidad de muchas especies sésiles intermareales que conviven con el mejillón, y que no deberían ser el objetivo de esta actividad extractiva. Como resultado, la comunidad intermareal de las zonas explotadas es diferente de la comunidad de zonas no explotadas. Esta observación, unida al hecho de que la extracción de semilla está permitida en una amplia franja del litoral interno de los archipiélagos del Parque Nacional, sugiere que el

intermareal de la costa protegida del Parque Nacional no proporciona una imagen representativa de lo que sería dicho hábitat en su estado natural libre de la explotación de semilla. Para que le Parque Nacional proporcione una imagen fiel de la comunidad intermareal de nuestras costas, sería necesario limitar en lo posible la extracción de semilla de mejillón dentro de sus límites.

Introducción

La extracción de semilla de mejillón suele realizarse todos los años desde el 1 de diciembre hasta el 30 de abril del siguiente año. De manera excepcional, la Consellería del Mar puede ampliar el periodo de extracción a petición de los interesados si lo considera oportuno. La extracción consiste en arrancar matas de mejillón pequeño (aproximadamente 1 cm de longitud) utilizando rasquetas manuales. El año en que se ha realizado este estudio (2016), la Consellería del Mar autorizó la ampliación de la época de extracción hasta el 31 de mayo. Sin embargo, ante las quejas de la dirección del Parque Nacional de las Islas Atlánticas, la propia Consellería modificó su resolución el 13 de mayo excluyendo las costas del Parque Nacional de la ampliación del periodo de extracción. Por tanto, oficialmente, la campaña de 2016 en las costas del Parque se ha prolongado sólo hasta el 13 de mayo.

El estudio planteado tiene como objetivo comparar la comunidad intermareal de la cintura ocupada por *Mytilus galloprovincialis* en zonas de extracción y zonas libres de extracción. El estudio se prolongó desde el fin de la temporada de extracción de 2015-2016 (13 de mayo de 2016) hasta el comienzo de la siguiente temporada (1 de diciembre de 2016). La extracción de semilla de mejillón se hace en la cara de las islas que mira al interior de la ría, de manera que tanto los sitios de extracción como los sitios control están emplazados en la cara Este de las islas. Por otra parte, al tratarse de un estudio a nivel de Parque Nacional, se incluyeron lugares de estudio en los 3 archipiélagos sometidos a extracción de semilla de mejillón (Cíes, Ons, Sálvora). La presencia de zonas donde la extracción de mejilla está prohibida varía de unas islas a otras. Así, en Ons no está permitida la extracción en zonas de roca aledañas a las playas; en Cíes está prohibido extraer desde Carracido hasta la cara externa de la isla y en una zona de la cara interna situada entre Cantareira y Figueiras (denominada Bufardo) donde el personal del parque hace un seguimiento de la costa desde el vertido del Prestige; finalmente, en Sálvora no hay restricción en ninguna zona de la cara interna del archipiélago. Estas diferencias en la zonificación de las islas hizo que no fuese posible aplicar el diseño planteado inicialmente (2 zonas de extracción y 2 zonas control por

archipiélago) ya que en Sálvora no hay zonas de costa rocosa de la cara Este de la isla libres de extracción de mejilla.

Material y métodos

Antes de comenzar el estudio, se hizo una visita a las islas a finales de abril para localizar posibles sitios control y sitios de extracción de mejilla en los 3 archipiélagos. Finalmente, se decidió utilizar 2 sitios control y 2 sitios de extracción en cada uno de los archipiélagos de Cíes y Ons, y dos sitios de extracción en el caso de Sálvora (Tabla 1; Fig. 1).

El estudio comenzó en mayo de 2016, justo antes de que se hubiese ampliado la época de extracción, y los muestreos se repitieron con frecuencia aproximadamente mensual dependiendo de la ocurrencia de mareas suficientemente vivas como para permitir el trabajo. En cada muestreo y sitio, se estimó la diversidad y abundancia (como cobertura) de especies animales y vegetales sésiles en la zona intermareal ocupada por el mejillón mediante cuadrados de 0,5 x 0,5 m. Las estimas medias de cada sitio se basaron en medidas obtenidas en tres parcelas de costa con características similares y separadas 15-25 m entre ellas, registrando la presencia de especies en 3 cuadrados localizados al azar dentro de cada parcela (n = 9 por sitio). A partir de los datos de los cuadrados de muestreo de cada sitio, se estimó el nº total de especies sésiles así como la riqueza específica, diversidad, cobertura de mejillón y cobertura total de las restantes especies sésiles promedio por cuadrado de muestreo. Las estimas en sitios control (n = 4) y de extracción (n = 6) se compararon mediante un análisis de la varianza permutacional (PERMANOVA) parcialmente anidado, con *Sitio* y *Parcela* como factores aleatorios anidados (Anderson 2001; McArdle & Anderson 2001). Los valores de probabilidad (P) se estimaron con una distribución de permutaciones asintótica generada con el método de Monte Carlo (Anderson & Robinson 2003).

Las diferencias en la estructura de la comunidad sésil de sitios de extracción y control también se testó mediante PERMANOVA de las similitudes Bray-Curtis entre pares de muestras (Bray & Curtis 1957) después de transformar las estimas de cobertura (raíz cuadrada) para equilibrar la contribución de las especies raras y dominantes a las estimas de similitud. La similitud se calculó teniendo en cuenta la cobertura de todas las

especies sésiles salvo *M. galloprovincialis* para evitar que las estimas se viesen artificialmente influidas por impacto que la extracción de semilla tiene sobre la cobertura de *M. galloprovincialis*. Además, para diferenciar en qué medida las diferencias de estructura de comunidad detectadas con el análisis de la similitudes BC se deben a cambios en la abundancia relativa de las especies o a diferencias en la lista de especies presentes, el PERMANOVA se repitió usando la distancia de Jacard que trata los datos como simples presencias/ausencias y es directamente interpretable como la proporción de especies compartidas entre dos muestras. La matriz de similitudes BC se visualizó mediante un gráfico de coordenadas principales (PCO) tanto de las similitudes entre pares de muestras como de las similitudes entre los centroides de las muestras de cada tratamiento. En el caso de las muestras, también se representó la correlación entre la ordenación y los valores originales de cobertura de las especies por medio de vectores superpuestos que representan aquellas especies cuyos valores de cobertura tienen una correlación Spearman con alguno de los ejes >0.5. Por otra parte, se hizo un análisis canónico de coordenadas principales (CAP) para determinar el número de ejes PCO que maximiza el éxito de asignación de las muestras al grupo correcto (sitios control y sitios de extracción). Con CAP, también se evaluó el poder de los datos de estructura de la comunidad para distinguir entre sitios control y de extracción calculando la probabilidad del estadístico traza con 9999 permutaciones. También se analizó la descomposición de la disimilitud entre muestras control y muestras de sitios de extracción usando la rutina SIMPER para identificar las especies que más contribuyen a las diferencias entre ambos tipos de muestra. Por otra parte, como PERMANOVA puede detectar diferencias significativas si las muestras tienen una dispersión muy diferente en cada grupo, previamente al PERMANOVA se testó la homogeneidad de la dispersión de las muestras dentro de cada sitio y de la dispersión de los centroides de los sitios de cada tratamiento (control vs. extracción) usando la rutina PERMDISP implementada en PRIMER-E y calculando los valores de probabilidad mediante 9999 permutaciones (Manly 2005). Todos los análisis estadísticos se hicieron con la ayuda de los paquetes estadísticos PRIMER v6 (Clarke & Gorley 2006; Anderson *et al.* 2008) y STATGRAPHICS Centurion XVI (Anon. 2010).

Resultados y discusión

La cobertura media de mejillón en los sitios estudiados varió desde un máximo de 80.6 +/- 5.71% (media +/- error estándar) en Mayo en el sitio control C3 (Bufardo) hasta el mínimo de 0.6 +/- 3.83% registrado en julio en uno de los sitios explotados de Ons (O1, Curro) (Fig. 2.A). Como cabría esperar, y a pesar de la considerable variación detectada entre sitios de un mismo tipo (Factor *Site,* Tabla 2), la cubierta de mejillón fue significativamente mayor en los sitios control que en los sitios de extracción (Factor *Treatment,* Tabla 2). Sin embargo, la diferencia media entre ambos tipos de sitio cambió durante el periodo de estudio (interacción significativa entre *Time* y *Treatment,* Tabla 2), debido al descenso de cobertura registrado en sitios control al llegar el verano y al incremento de cobertura en sitios explotados desde septiembre a noviembre (Fig. 2.A). Así, la cobertura media de mejillón en sitios control se mantuvo relativamente estable en mayo (54.8 +/- 6.38%, media +/- error estándar) y junio (53.0 +/- 5.47%), disminuyó de manera apreciable en julio (22.8 +/- 6.03%), y volvió a aumentar en septiembre (30.9 +/- 4.75 %) y octubre (33 +/- 6.13 %) hasta alcanzar niveles comparables a los observados al principio del estudio en noviembre (46.5 +/- 7.78%). Por el contrario, la cobertura media de mejillón en sitios de extracción disminuyó de mayo (20.1 +/- 5.21%) a junio (9.1 +/- 4.89%), coincidiendo con el remate de la época de extracción dentro del Parque Nacional y la llegada de la época estival, manteniéndose estable en julio (8.0 +/- 5.36%). Al igual que en los sitios control, la cobertura de mejillón en los sitios de extracción aumentó de manera pronunciada entre septiembre (20.9 +/- 4.22 %) y noviembre (33.7 +/- 6.91%). Como resultado de estos cambios en el tiempo, las diferencias medias entre sitios control y de extracción pasaron de ser estadísticamente significativas en mayo y junio a dejar de serlo de julio a noviembre (Tabla suppl. 1), aunque la cobertura media en sitios control en noviembre (46.5 +/- 7.78%) siguió siendo mayor que la media registrada en sitios de extracción (33.7 +/- 6.91%).

El descenso de la cobertura de mejillón durante el verano es un fenómeno frecuente en costas gallegas. A principios de los 2000s, Brea Bermejo (2009) siguió mensualmente la evolución de la cubierta de semilla de mejillón en seis bancos de la costa gallega durante 4-5 años encontrando que el porcentaje de superficie ocupada por la semilla disminuía

de manera gradual en muchos de ellos desde primavera (abril-mayo) hasta mediados-finales del verano (agosto-septiembre) para seguidamente volver a aumentar en otoño. El carácter gradual de esos cambios sugiere que son provocados por causas naturales y no se deben a episodios de extracción furtiva. En todo caso, el estudio de Brea Bermejo (2009) también muestra que este ciclo estacional varía mucho de unos años a otros y entre localidades, hasta el punto de que en un mismo banco se pueden alternar años que presentan esa caída estival con años en los que la cubierta de semilla de mejillón aumenta de manera continuada desde la primavera hasta el comienzo de la campaña de extracción de semilla al final del otoño. Por desgracia, Brea Bermejo (2009) no hizo un estudio de los posibles mecanismos responsables del descenso de densidad durante el verano, limitándose a especular que probablemente se deba a mortalidad natural provocada por el aumento de temperatura.

La cubierta total acumulada del resto de especies sésiles, excluido el mejillón, siguió un patrón en gran medida similar al observado en la cubierta de mejillón (Fig. 2.B). Sin embargo, a diferencia del mejillón, la cubierta media en sitios control se mantuvo significativamente mayor que en sitios de extracción a lo largo de todo el estudio (Tabla 2). Esto indica que la extracción de semilla de mejillón tiene un impacto significativo sobre la abundancia del resto de organismos sésiles que conviven con él en la misma franja intermareal. Aunque no detectamos diferencias entre los factores *Treatment* y *Time*, la diferencia entre sitios control y de extracción se redujo al llegar el verano debido al descenso gradual de la cubierta de organismos sésiles en sitios control entre mayo y julio. Así, la cubierta media en sitios control pasó de 125.0 +/- 21.18% en mayo a 107.3 +/- 19.02% en junio y 83.4% +/- 11.67% en julio, mientras que la cubierta en sitios explotados se mantuvo muy estable durante este periodo (35.9 +/- 17.23%, 35.9 +/- 17.00% y 38.0 +/- 10.37% en mayo, junio y julio, respectivamente). Como sucedía con la cobertura de mejillón, en septiembre y octubre la cobertura de organismos sésiles asociados a la comunidad de mejilla se recuperó tanto en los sitios control (110.9 +/- 10.16% y 119.4 +/- 12.27% en septiembre y octubre respectivamente), como en los sitios explotados (75.3 +/- 9.02% y 72.9 +/- 10.91%). Sin embargo, en noviembre se observó un ligero descenso de la cobertura de especies sésiles en sitios control (95.4 +/- 10.51%)

y sitos explotados (67.3 +/- 9.34%). Merece la pena destacar que la diferencia media entre sitios control y de extracción resultó estadísticamente significativa a pesar de la considerable variación en cobertura observada entre sitios de un mismo tipo (factor *S(T)* en Tabla 2). Variación especialmente pronunciada en los sitios control donde C3 (Bufardo) mostró coberturas medias que duplicaban las de otros sitios control en mayo y junio. De hecho, los valores de cobertura tan desviados de C3 hicieron que la dispersión (variabilidad) de las estimas de los sitios control en mayo y junio fuesen significativamente mayores que en el resto de combinaciones de tiempo y tratamiento. Como PERMANOVA puede ser sensible a esas diferencias de dispersión entre los grupos de muestras analizados, el análisis se repitió excluyendo C3 del conjunto de datos. El análisis repetido produjo resultados esencialmente idénticos a los obtenidos con C3 en el conjunto de datos, lo que indica que el efecto de la explotación de semilla sobre la cobertura no es un artefacto de los valores anómalamente elevados de cobertura registrados en mayo-junio en C3. Las principales especies acompañantes de la semilla de mejillón fueron algas. Muchas de las especies de algas presentes en esta zona intermareal son perennes (*Caulacanthus ustulatus, Corallina caespitosa, Lithophyllum incrustans* etc.). Sin embargo, la presencia de especies efímeras o estacionales (*Ulva* sp., *Ceramium* sp., *Laurencia pyramidalis*, etc.) podría explicar las variaciones en cobertura de especies detectada a lo largo del estudio en sitios control.

La riqueza específica y diversidad de la comunidad sésil que convive con el mejillón registradas en sitios control también fueron mayores que en los sitios de extracción a lo largo de todo el estudio (Fig. 3. A y B). El PERMANOVA detecto diferencias significativas en ambas estimas a pesar de la considerable variabilidad de estructura de la comunidad entre sitios de un mismo tipo (factor *S (T)* en Tabla 2). La no existencia de una interacción significativa entre *Treatment* y *Time* indica que el efecto de la extracción de la semilla se mantuvo a lo largo de todo el estudio (Tabla 2). De hecho, tanto en la Fig. 3. A y B como en el PERMANOVA por meses (Tabla suppl. 1), sugieren que las diferencias de riqueza específica y diversidad entre ambos tipos de sitios tendieron a incrementarse levemente con el paso de los meses. En conjunto y a lo largo de todo el estudio, los sitios control mostraron una media de 3.64 +/- 2.97 especies por cuadrado más que en los de los

sitios explotados (diferencia media +/- intervalo de confianza al 95% según el método de Bonferroni) mientras que las estimas de diversidad Shannon fueron de 0.46 +/- 0.39 unidades mayores en sitios control que en sitios explotados. Las diferencias de la estructura de la comunidad también fueron evidentes cuando se estimó el número total de especies registrado en cada localidad de muestreo (Fig. 4). De nuevo, de manera consistente a lo largo del estudio, el promedio de especies fue mayor en sitios control que en sitios explotados (Tabla 2). A diferencia de las estimas de cobertura, el número total de especies detectado en cada localidad aumentó de mayo a noviembre tanto en las zonas control como en las de extracción, lo que explica la existencia de diferencias significativas para el factor tiempo. Así, el número medio de especies en sitios control paso de 15.0 +/- 2.38 en mayo a, 24.8 +/- 2.12, y 22.2 +/- 2.57 en octubre y noviembre respectivamente, mientras que en las zonas de extracción el número medio de especies por sitio pasó de 10.2 +/- 1.94 en mayo a 15.0 +/-1.61, 13.8 +/- 2.11, 16.3 +/- 2.56, 16.2 +/- 1.93 y 14.7 +/- 2.34 en junio, julio, septiembre, octubre y noviembre respectivamente. El aumento paralelo en ambos tipos explica que la interacción *Time* x *Treatment* no fuese significativa (Tabla 2).

Usando similitudes Bray-Curtis (BC) entre pares de muestras, encontramos que la composición de la comunidad de organismos sésiles es muy variable tanto entre sitios de un mismo tipo (factor *Site(T)*) como entre parcelas de un mismo sitio (factor *Plot(S(T))*)(Tabla 2). A pesar de esa variabilidad, detectamos diferencias significativas de estructura de la comunidad tanto entre tipos de sitio (controles frente a sitios explotados) como a lo largo del tiempo de estudio (factores *Treatment* y *Time* en Tabla 2). Es más, al igual que ocurría con las estimas univariantes de estructura como riqueza específica o diversidad, no hay evidencias de que las diferencias de similitud BC entre sitios control y explotados cambien de unos meses a otros, lo que sugiere que el impacto de la extracción de semilla sobre el resto de la comunidad sésil perduró durante los seis meses de este estudio. Los efectos del factor *Treatment* detectado por PERMANOVA debe atribuirse a un efecto genuino de la extracción de la semilla sobre la composición media de la comunidad y no a un efecto sobre la variabilidad de los datos recogidos ya que el análisis de la homogeneidad de la dispersión de los datos de similitud BC no

encontró diferencias significativas de dispersión entre los grupos formados por muestras de un mismo tipo (factor tratamiento: *P*-perm = 0.76, *F* = 0.11 con 1 y 598 grados de libertad). Por otra parte, las diferencias de estructura de la comunidad se deben más a cambios en la composición de especies que a diferencias en las abundancias relativas de éstas ya que el re-análisis de los datos usando la distancia de Jacard (equivalente a analizar sólo presencia/ausencia) produjo estimas de pseudo-*F* y probabilidades muy semejantes a las obtenidas con la matriz de similitudes BC (Tabla suppl. 2).

Las diferencias de estructura de comunidad entre sitios control y de extracción se puede visualizar en la ordenación PCO de las muestras basada en su similitud BC (Fig. 5.A). El 45,7% de la variación de la matriz original de distancias es explicada por los dos primeros ejes de la ordenación. Las muestras de los sitios de extracción (en verde) tienden a aparecer separadas de las muestras de sitios control (en rojo). Al menos en parte, PCO1 recoge la variación entre sitios explotados y control ya que la cobertura de muchas especies correlacionó negativamente con este eje, destacando *Corallina caespitosa*, *Lithophyllum incrustans, Ceramium* sp., y *Caulacanthus ustulatus*. Sin embargo, el hecho de que *Chthamalus* sp. sea la única especie con una fuerte correlación positiva con PCO1 (correlación Spearman >0.8) sugiere que PCO1 no sólo separa las muestras en función del tipo de sitio (control o explotado) sino que también representa el cambio de la comunidad a lo largo del tiempo. De hecho, la cobertura de *Chthamalus* sp. aumentó a partir de septiembre tanto en sitios control y explotados. Por otra parte, aunque la cobertura de *Balanus* sp. correlacionó negativamente con PCO2 (-0.53), no es posible deducir ningún patrón claro del examen de sus cambios de abundancia a lo largo del estudio. En la misma línea, el análisis SIMPER identificó 20 especies como las que más contribuyen a la disimilitud entre muestras de sitios control y sitios de extracción (disimilitud media entre grupos de muestras = 67,3%) (Tabla 4). Muchas de estas especies tenían una cobertura media mayor en sitios control que en sitios de extracción (*Corallina caespitosa, Caulacanthus ustulatus, Lithophyllum incrustans, Ulva* sp., *Ceramium* sp., *Asparagopsis armata, Hildenbrandia rubra, Chondracanthus acicularis, Laurencia pyramidalis, Ralfsia verrucosa, Petrocelis cruenta, Leathesia marina,*

Halopteris scoparia, Mastocarpus stellatus, Bryopsis plumosa). Las otras especies que contribuyeron a la disimilitud entre ambos tipos de sitios no mostraron diferencias claras de abundancia media entre ambos tipos de sitio (*Chthamalus* sp., *Balanus* spp., *Actinia equina, Gelidium pulchellum*), con la excepción de *Semibalanus balanoides* que presentó una mayor cobertura media en los sitios explotados. En conjunto, la ordenación sugiere que la separación entre sitios control y explotados detectada por el PERMANOVA no se puede atribuir al impacto de la extracción sobre la abundancia de una o unas pocas especies sino que la explotación de semilla tiene un efecto negativo sobre la abundancia de muchas otras especies sésiles del intermareal.

Una visión más sencilla del efecto de la explotación sobre la composición de la comunidad se puede ver en la ordenación PCO de los centroides (equivalente multidimensional del valor medio) de cada combinación de tratamiento por tiempo (Fig. 5.B). La separación entre control y explotado es evidente a lo largo de PCO1 (50.7% de la variación) y coherente con el efecto altamente significativo del tratamiento sobre los valores de los centroides (PERMANOVA de los centroides para el factor tratamiento: pseudo-F = 8.06, P-perm = 0,0004). PCO1 correlaciona positivamente con las estimas medias de diversidad Shannon (correlación Spearman 0.83) y cobertura total (0.74), lo que refuerza la conclusión de que la explotación de semilla altera la composición de la comunidad del resto de especies sésiles y tiene un impacto negativo tanto sobre su cobertura total como sobre su diversidad. Por otra parte, el cambio estacional se evidencia a lo largo del eje PCO2 (27.4 % de variación) donde observamos una clara diferenciación entre las muestras de mayo y junio (hacia la parte positiva del eje), y las de julio-noviembre (hacia la parte negativa del eje). PCO2 correlaciona negativamente con la riqueza específica (-0.62) debido al aumento de ésta detectado en octubre-noviembre, especialmente en sitios control.

Como cabría esperar, sólo fue necesario un eje CAP (2 grupos-1) para el análisis canónico de coordenadas principales (CAP) bajo la premisa de que las muestras se pueden separar en dos grupos, control y extracción de semilla. La correlación canónica de este eje fue razonablemente alta (0.608). Las pruebas de permutación indicaron que el estadístico traza era altamente significativo (P <0.0001), reforzando la conclusión del PERMANOVA

de que hay diferencias significativas en la estructura de la comunidad entre muestras de sitios control y de sitios de extracción. Según CAP, el éxito en la asignación de nuevas muestras al grupo correcto se maximiza con doce ejes PCO (m =12), lográndose un éxito de asignación de 77%. El éxito de asignación es levemente mayor para muestras del grupo explotado (82,3%: 279 de 339 asignadas correctamente) que para muestras del grupo control (70,1%: 183 de 261 muestras asignadas correctamente).

CONCLUSIONES

Los resultados del presente trabajo muestran que la recolección de semilla de mejillón no sólo afecta a la cubierta de esta especie sino que también tienen efectos sobre el resto de la comunidad intermareal. La explotación de semilla tiene un efecto negativo significativo sobre la cobertura de otras especies sésiles, altera la estructura de la comunidad y provoca un cierto empobrecimiento de ésta. Aunque detectamos cambios de la comunidad intermareal asociados al ciclo estacional, las diferencias entre sitios explotados y control se mantuvieron a lo largo de todo el estudio. Esto sugiere que el periodo oficial de interrupción de la extracción de semilla (Mayo-Diciembre) no es suficientemente largo como para permitir la recuperación de la comunidad (cobertura total, riqueza y diversidad específicas, y estructura de la comunidad). El carácter alterado de la comunidad intermareal de los sitios explotados, unido al hecho de que la extracción de semilla está permitida en un porción mayoritaria del litoral interno de los archipiélagos del Parque Nacional, sugiere que el intermareal de la costa protegida del Parque Nacional no proporciona una imagen fiel de lo que sería ese hábitat en su estado natural libre de la explotación de semilla. En este sentido, sería deseable ampliar la extensión de las zonas de litoral interno donde se prohíbe la extracción de semilla de mejillón para que el Parque Nacional proporcione una visión más natural de este hábitat y acorde al objeto de creación del Parque Nacional de asegurar la protección, recuperación y conservación de uno de los sistemas naturales no representados hasta ahora en la red de Parques Nacionales.

Figuras y tablas

Archipiélago	Sitio	Cod.	Tipo	Coordenadas
Cíes	Cantareira	C1	Explotación	42º14'12.98'' N 8º54'02.26'' O
	Carracido	C2	Explotación	42º12'46.16'' N 8º54'24.15'' O
	Bufardo	C3	Control	42º13'38.23'' N 8º53'45.75'' O
	Figueiras	C4	Control	42º13'55.78'' N 8º54'03.98'' O
	Faro da Porta	C5	Control	42º12'51.67'' N 8º54'16.62'' O
Ons	Curro	O1	Explotación	42º22'31.78'' N 8º55'55.09'' O
	Centolo	O2	Explotación	42º23'51.02'' N 8º55'12.64'' O
	Canexou	O3	Control	42º22'04.32'' N 8º56'00.91'' O
	Melide	O4	Control	42º23'26.49'' N 8º55'26.06'' O
Sálvora	Pta. Castelo	S1	Explotación	42º28'11.11'' N 9º00'03.65'' N
	Pta. dos Bois	S2	Explotación	42º28'45.22'' N 9º00'29.66'' O

Tabla 1. Localización de los sitios de estudio. Debido a la ausencia de zonas no explotadas en la cara interna del archipiélago de Sálvora, no hay sitios control en éste.

		Mussel cover			Total cover[a]			Species richness[a]			Shannon diversity[a]			BC similarity[a]			Total nº of species[a]		
Source of variation	**df**	**MS**	**Pseudo-*F***		**MS**	**Pseudo-*F***		**MS**	**Pseudo-*F***		**MS**	**Pseudo-*F***		**MS**	**Pseudo-*F***		**df**	**MS**	**Pseudo-*F***
Treatment = T	1	61483	**9,4**	**	389000	**13,7****		1780	**7,2**	*	30,5	**6,7**	*	90396	**3,6**	*	1	657.6	**25.3*****
Time (Ti)	5	7802,1	**14,4**	***	17227	**3,9**	**	167,0	**10,9**	***	0,8	1,9		15022	**4,2**	***	5	71.4	**2.7***
Ti x T	5	5694,1	**10,5**	***	10093	2,3		25,2	1,6		0,4	0,9		4304,5	1,2		5	5.8	0.2
Site (T) = S(T)	9	6615,5	**8,4**	***	28779	**16,9*****		251,6	**8,9**	***	4,6	**3,8**	**	25337	**3,5**	***	N/A		
Plot (S(T)) = P(S(T))	23	787,1	**3,5**	***	1705,6	**1,9**	**	28,5	**5,5**	***	1,2	**7,1**	***	7312,1	**6,4**	***	N/A		
Ti x S(T)	44	544,4	1,3		4455,6	**4,0**	***	15,4	**2,1**	**	0,4	**1,6**	*	3557,7	**2,1**	***	N/A		
Ti x P(S(T))	112	422,8	**1,9**	***	1122,6	**1,3**	*	7,5	**1,4**	**	0,3	**1,6**	**	1697,4	**1,5**	***	N/A		
Residual	400	226,8			884,8			5,2			0,2			1149,6			53	26.009	

[a]Estimado sin incluir la cobertura del propio *Mytilus galloprovincialis*. * = *P*< 0.05, ** = *P*<0.01, ***=*P*<0.001.

Tabla 2. Resultados del análisis de la varianza permutacional (PERMANOVA) de los efectos de la extracción de semilla de mejillón (*Treatment:* comparación de sitios control con sitios de extracción de semilla), tiempo (Time: comparación de los muestreos de mayo, junio, julio, septiembre, octubre y noviembre), localidad de muestreo (*Site*) y parcela (*Plot*) sobre la cobertura de mejillón (*Mussel cover*), la cobertura total del resto de especies sésiles (*Total coverage*), la riqueza específica (*Species richness*), la diversidad (*Diversity Shannon*), la similitud Bray-Curtis (*BC similarity*) y el número total de especies de la comunidad de organismos intermareales sésiles. Riqueza específica se refiere al número de especies encontrada por cuadrado de muestreo mientras que el número total de especies es el resultado de agregar los datos de los nueve cuadrados muestreados en cada combinación de sitio y fecha de muestreo. *df* = grados de libertad, *MS* = media cuadrática, pseudo-*F* = estadístico análogo a la *F* del ANOVA paramétrico pero estimado con la distribución de permutaciones asintótica generada por el método de Monte Carlo. N/A = fuente de variación no aplicable a esa variable.

Grupo	N	Media +/- SE
Control	261	44,85 +/- 0,63
Explotado	339	45,18 +/- 0,71
Mayo	90	49,34 +/- 1,22
Junio	102	50,10 +/- 0,93
Julio	102	48,43 +/- 1,21
Septiembre	102	42,13 +/- 1,25
Octubre	102	39,10 +/- 1,27
Noviembre	102	41,10 +/- 1,27
Control-mayo	36	42,72 +/- 1,68
Explotado-mayo	54	48,36 +/- 1,65
Control-junio	45	47,41 +/- 1,30
Explotado-junio	57	48,48 +/- 1,34
Control-julio	45	45,09 +/- 1,37
Explotado-julio	57	49,32 +/- 1,61
Control-septiembre	45	41,31 +/- 1,64
Explotado-septiembre	57	40,13 +/- 1,81
Control-octubre	45	39,22 +/- 1,53
Explotado-octubre	57	36,00 +/- 1,74
Control-noviembre	54	44,18 +/- 1,57
Explotado-noviembre	48	33,98 +/- 1,71

Tabla 3. Homogeneidad de la dispersión de las estimas de similitud Bray-Curtis entre muestras agrupadas según los factores Tratamiento (muestras de sitios control y de sitios explotados), Tiempo (muestras recogidas en los sondeos de mayo, junio, julio, septiembre, octubre y noviembre), y cada combinación de Tratamiento x Tiempo. Para cada grupo de muestras se indica la media (+/- SE) de las distancias de las muestras al centroide del grupo (equivalente al punto medio de la nube de puntos).

Especies	Av. Diss.	Diss./SD	Cum.%
Chthamalus sp.	11,0	1,2	16,3
Corallina caespitosa	6,9	1,3	26,49
Lithophyllum incrustans	5,7	1,0	34,96
Caulacanthus ustulatus	5,1	1,0	42,52
Petrocelis cruenta	4,4	0,8	49,05
Ulva sp.	4,3	1,0	55,43
Balanus spp.	3,8	1,1	61,06
Ralfsia verrucosa	3,5	0,88	66,28
Actinia equina	2,46	0,89	69,94
Ceramium sp.	2,27	0,59	73,32
Hildenbrandia rubra	1,85	0,7	76,08
Asparagopsis armata	1,46	0,51	78,25
Chondracanthus acicularis	1,43	0,48	80,38
Laurencia pyramidalis	1,33	0,43	82,35
Gelidium pulchellum	1,16	0,68	84,08
Bryopsis plumosa	1,14	0,5	85,77
Mastocarpus stellatus	1,09	0,43	87,39
Semibalanus balanoides	0,93	0,3	88,76
Leathesia marina	0,73	0,41	89,85
Halopteris scoparia	0,64	0,29	90,8

Tabla 4. Contribución de las especies a la disimilitud entre muestras de sitios control y de sitios de extracción de semilla. Las especies están ordenadas en orden decreciente de contribución y sólo se muestran aquellas cuya contribución acumulada supone un 90% de la disimilitud total entre ambos grupos. Disimilitud promedio entre grupos control y de extracción = 67,3%. Av. Diss. = promedio de disimilitud debida a cada especie, Diss. / SD = ratio entre la disimilitud promedio y su desviación estándar entre pares de muestras, Cum. % = contribución, como porcentaje, acumulativa a la disimilitud promedio entre grupos control y de extracción.

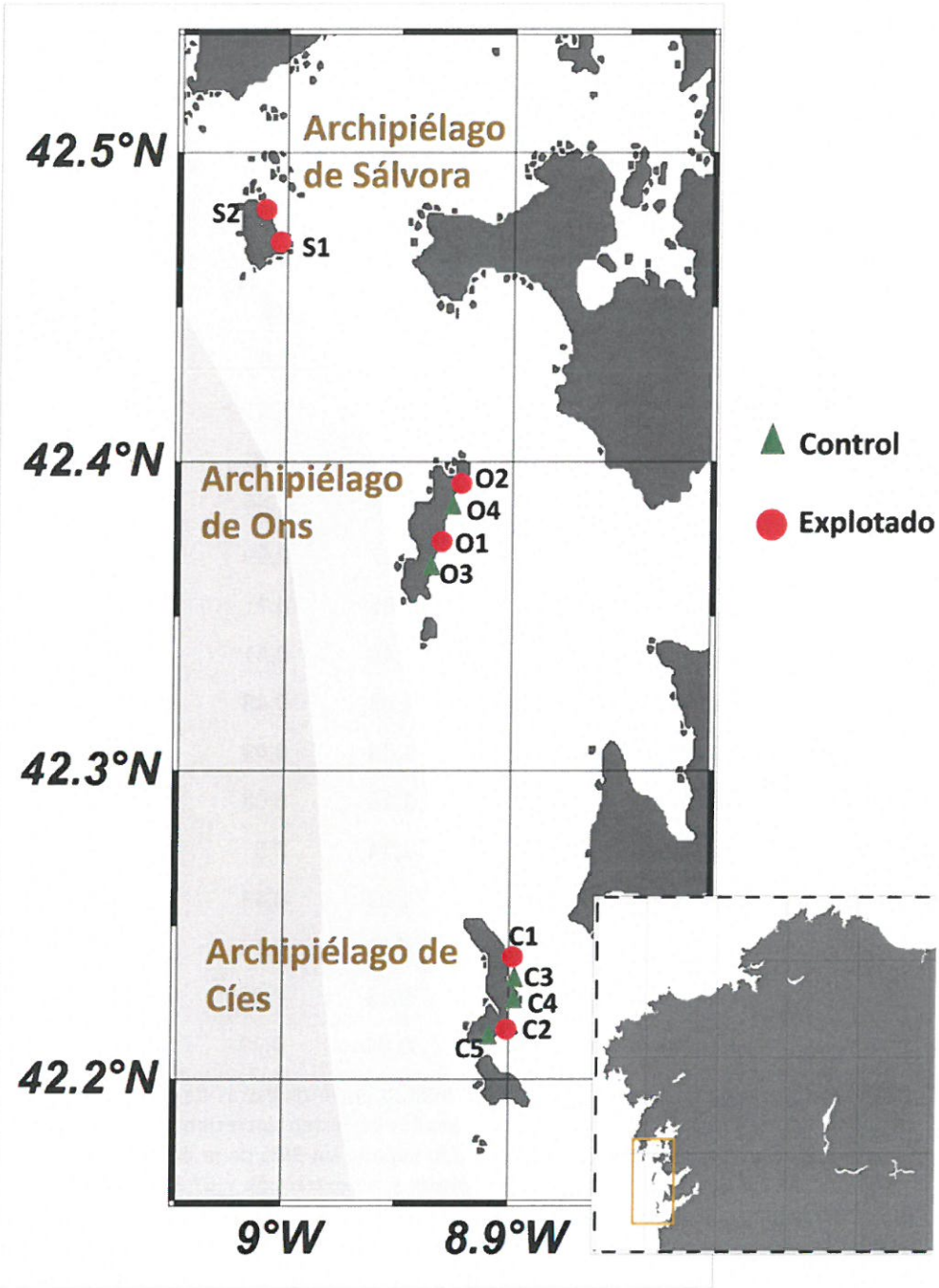


Fig. 1. Mapa de los archipiélagos estudiados y la localización de los sitios de muestreo. Los triángulos verdes se corresponden a los sitios control y los círculos rojos corresponden a los sitios explotados.

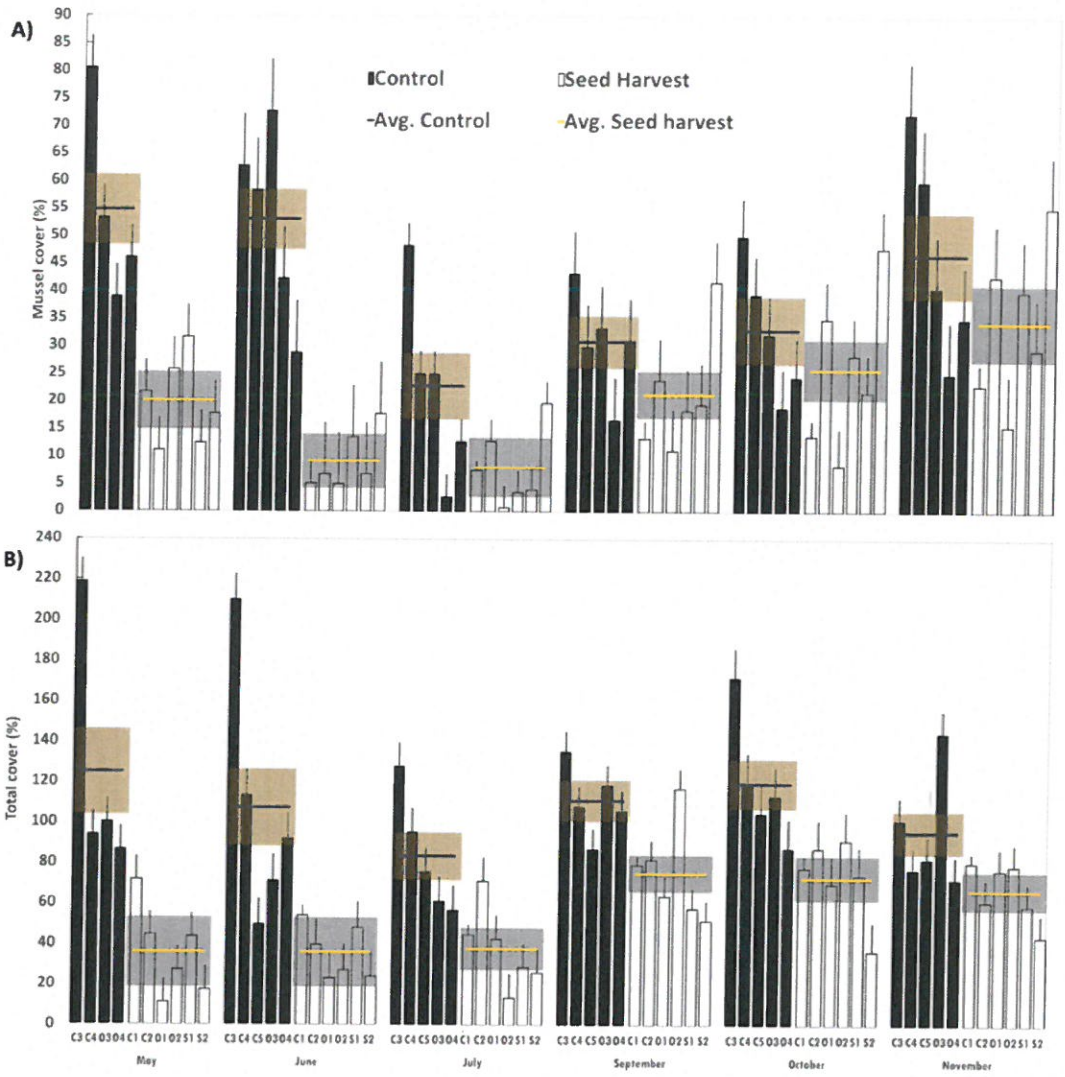


Fig. 2. Valores medios (+SE) de (A) cobertura de mejillón (*M. galloprovincialis*) y (B) cobertura total del resto de especies sésiles (sin incluir *Mytilus galloprovincialis*) en sitios control (barras sólidas) y de extracción de semilla de mejillón (barras huecas). Las líneas horizontales son la media (+SE) en cada tipo de sitio (control y extracción).

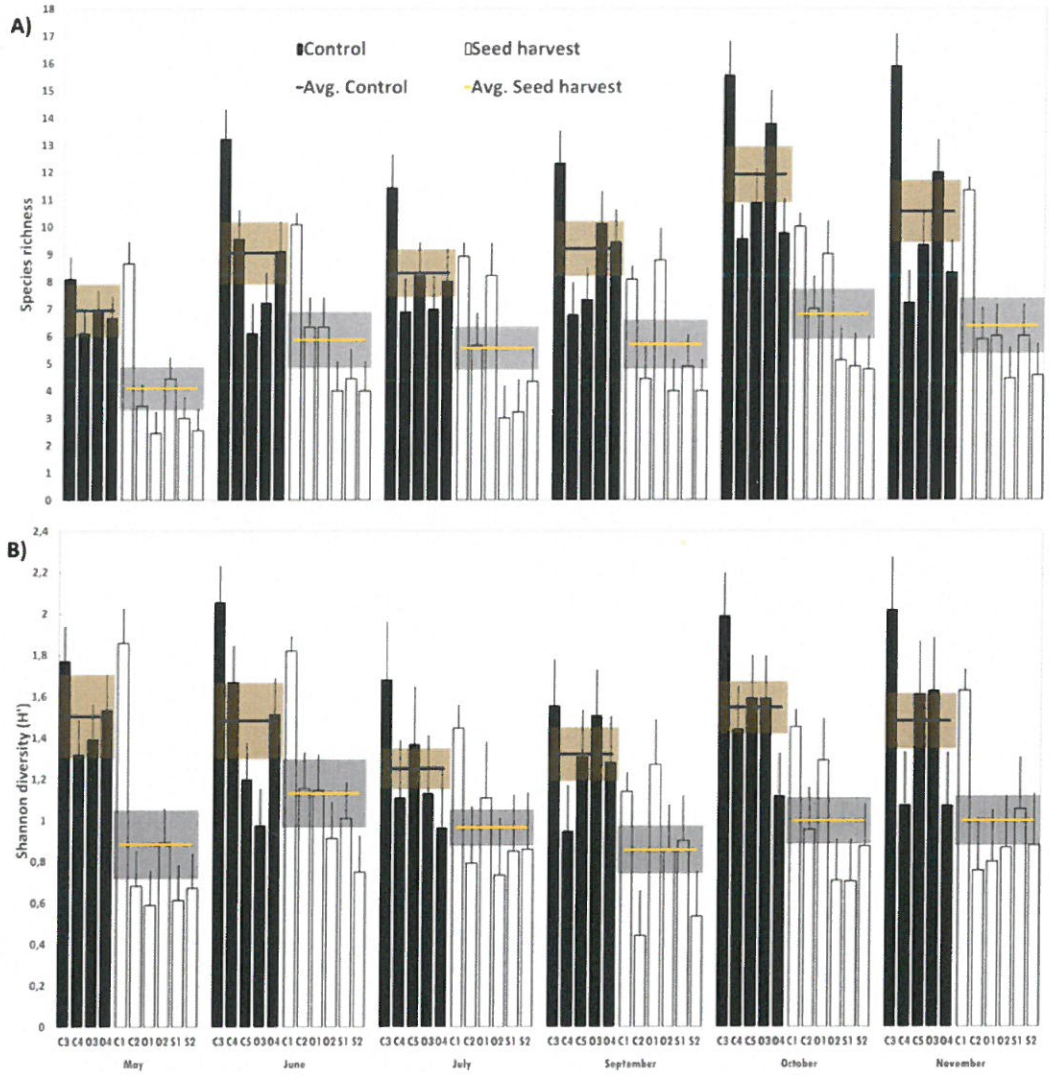


Fig. 3. Valores medios (+SE) de (A) riqueza específica y (B) diversidad Shannon en sitios control (barras sólidas) y de extracción de semilla de mejillón (barras huecas). Las líneas horizontales son la media (+SE) en cada tipo de sitio (control y extracción).

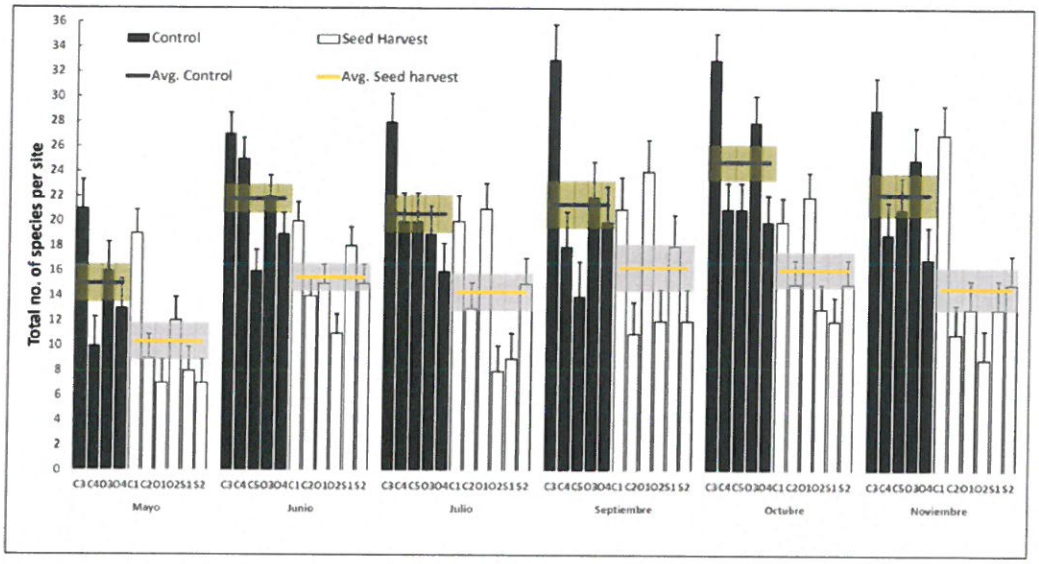


Fig. 4. Número total de especies en sitios control (barras sólidas) y de extracción de semilla de mejillón (barras huecas). Las líneas horizontales son la media (+SE) en cada tipo de sitio (control y extracción).

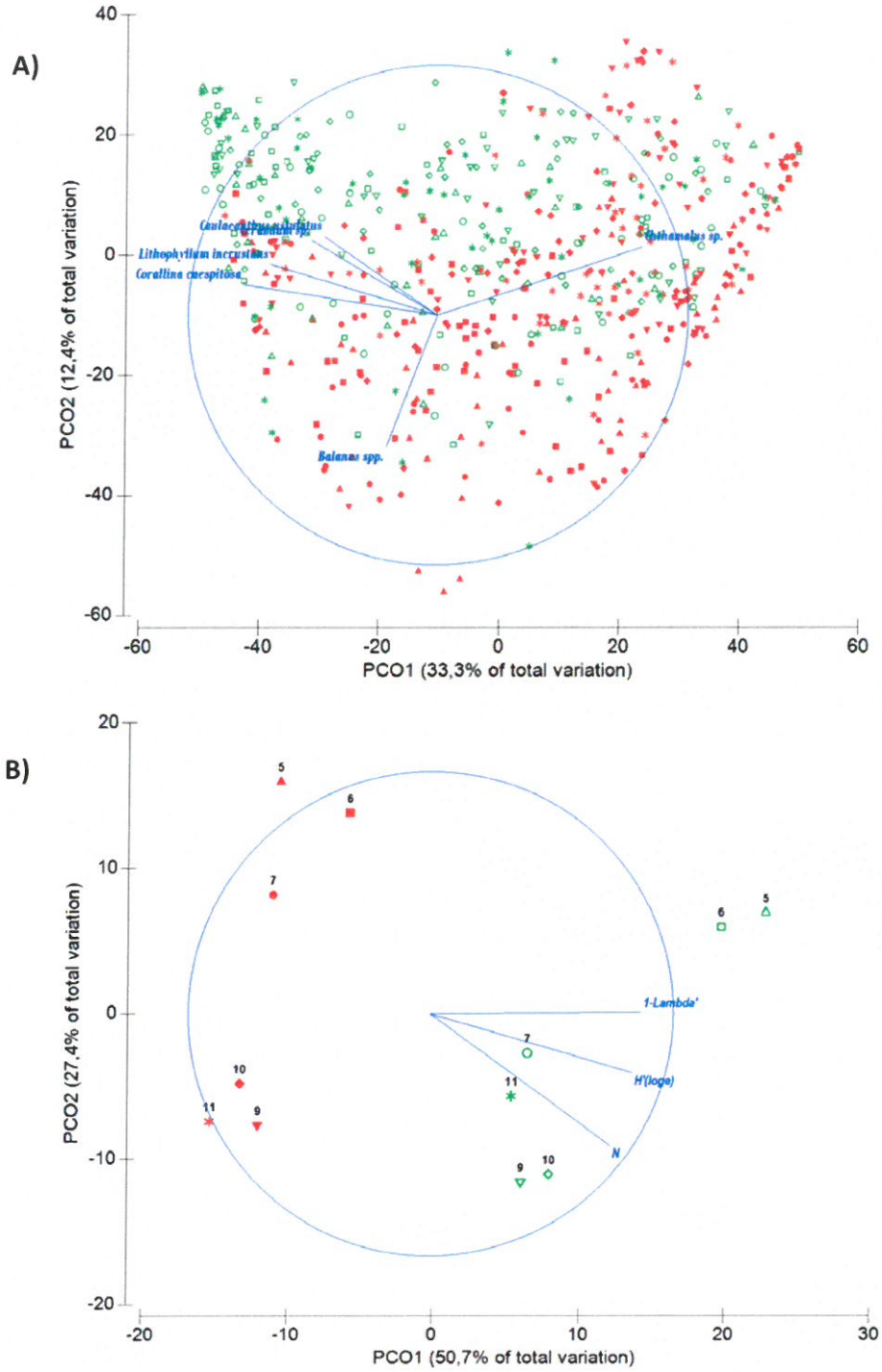


Fig. 5. Análisis de coordenadas principales (PCO) de la matriz de distancias BC (cobertura de *M. galloprovincialis* no incluida) entre (A) muestras, y (B) centroides de las muestras de cada combinación de tratamiento x tiempo (campaña de muestreo). Los vectores superpuestos B muestran las especies cuya cobertura tiene una correlación Spearman >0.5 con alguno de los ejes; la longitud y dirección del vector indica relación entre esas especies y los ejes de la ordenación. Símbolos verdes/huecos = sitios control, símbolos rojos/sólidos = sitios de extracción de semilla. Triángulos = mayo, cuadrados = junio, círculos = julio, triángulo invertido= septiembre, rombo= octubre, asterisco= noviembre.

Anexo

		Mussel cover		Total cover[a]		Species richness[a]		Shannon diversity[a]	
Source of variation	df	MS	Pseudo-*F*	MS	Pseudo-*F*	MS	Pseudo-*F*	MS	Pseudo-*F*
May									
Treatment = T	1	25972,00	**17,7****	171450,00	**10,7***	175,67	5,2	8,59	**5,7***
Site (T) = S(T)	8	1466,9	**5,0****	16043,00	**14,1*****	33,61	**6,3*****	1,51	**6,5*****
Plot (S) = P(S)	20	293,23	0,8	1137,90	1,3	5,31	2,0	0,23	1,6
Residual	60	345,58		889,63		2,69		0,14	
June									
Treatment = T	1	48211	**35,8*****	127650,00	**7,8***	252,80	4,1	3,51	2,1
Site (T) = S(T)	9	1354,10	1,7	147820,00	**11,9*****	62,47	**5,6*****	1,65	**5,6*****
Plot (S) = P(S)	23	774,26	**5,2*****	31745,00	1,4	11,14	2,1	0,30	1,5
Residual	68	148,56		68536,00		5,21		0,20	
July									
Treatment = T	1	5435,10	3,9	52333,00	**9,8***	189,34	3,9	2,63	3,2
Site (T) = S(T)	9	1416,20	**10,3*****	5386,20	**4,4****	49,11	**3,8****	0,83	1,1
Plot (S) = P(S)	23	138,06	1,0	1214,40	1,4	12,90	**2,8****	0,74	**4,3*****
Residual	68	141,80		852,17		4,53		0,17	
September									
Treatment = T	1	2302,2	2,3	32572	**8,1***	327,76	**6,9***	5,34	**6,8***
Site (T) = S(T)	9	985	2,0	4055,5	**4,9****	47,73	**3,9****	0,78	1,8
Plot (S) = P(S)	23	501,69	**2,2****	829,81	0,8	12,18	**2,3****	0,44	**2,3****
Residual	68	228,19		1095,1		5,19		0,19	
October									
Treatment = T	1	1293,3	0,8	54481	**9,3***	654,54	**11,6****	7,51	**8,0***
Site (T) = S(T)	9	1690,8	**4,1****	5927,2	**3,4****	56,87	**4,3****	0,94	**2,5***
Plot (S) = P(S)	23	412,35	**2,0***	1765,1	**2,6****	13,24	**1,7***	0,38	**2,0***
Residual	68	206,13		690,59		7,73		0,19	
November									
Treatment = T	1	3746	1,5	20678	**4,5**	438,23	**5,0**	5,82	**4,5**
Site (T) = S(T)	9	2561,4	**3,4***	4599,7	**4,4****	87,99	**7,3*****	1,31	**2,3**
Plot (S) = P(S)	23	764,42	**2,5****	1035,8	1,4	12,02	**2,2****	0,58	**3,8*****
Residual	68	304,45		767,13		5,44		0,15	

[a]Estimado sin incluir la cobertura del propio *Mytilus galloprovincialis*. * = *P*< 0.05, ** = *P*<0.01, ***=*P*<0.001.

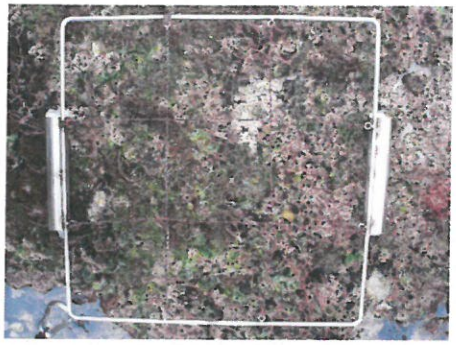
Tabla suppl. 1. Resultados del análisis de la varianza permutacional (PERMANOVA) de los datos de cada mes de muestreo. El análisis compara los efectos de la extracción de semilla de mejillón (*Treatment:* comparación de sitios control con sitios de extracción de semilla), localidad de muestreo (*Site*) y parcela (*Plot*) sobre la cobertura de mejillón (*Mussel cover*), la cobertura total del resto de especies sésiles (*Total coverage*), la riqueza específica (*Species richness*) y la diversidad (*Diversity Shannon*) de la comunidad de organismos intermareales sésiles. *df* = grados de libertad, *MS* = media cuadrática, pseudo-*F* = estadístico análogo a la *F* del ANOVA paramétrico pero estimado con la distribución de permutaciones asintótica generada por el método de Monte Carlo.

		Jacard distance[a]	
Source of variation	**df**	**MS**	**Pseudo-*F***
Treatment = T	1	74173	**2,7****
Time (Ti)	5	12948	**3,3*****
Ti x T	5	3703,20	0.9
Site (T) = S(T)	9	27702	**4,4*****
Plot (S(T)) = P(S(T))	23	6282,40	**4*****
Ti x S(T)	44	3883,90	**1,8*****
Ti x P(S(T))	112	2178,2	**1,4*****
Residual	400	1578,5	

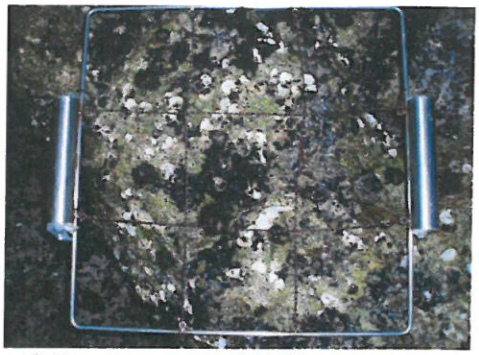
[a]Estimado sin incluir la cobertura del propio *Mytilus galloprovincialis*. * = *P*< 0.05, ** = *P*<0.01, ***=*P*<0.001.

Tabla suppl. 2. Resultados del análisis de la varianza permutacional (PERMANOVA) de los efectos de la extracción de semilla de mejillón (*Treatment:* comparación de sitios control con sitios de extracción de semilla), tiempo (Time: comparación de los muestreos de mayo, junio, julio, septiembre, octubre y noviembre), localidad de muestreo (*Site*) y parcela (*Plot*) sobre la distancia Jacard entre muestras. *df* = grados de libertad, *MS* = media cuadrática, pseudo-*F* = estadístico análogo a la *F* del ANOVA paramétrico pero estimado con la distribución de permutaciones asintótica generada por el método de Monte Carlo.

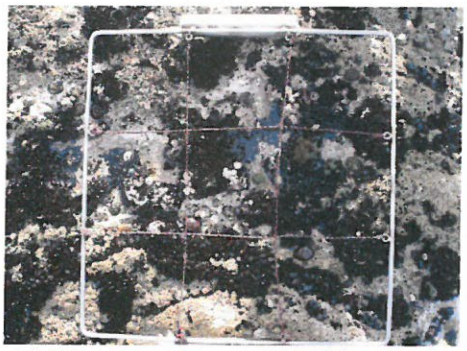
1) Cíes-mayo-control



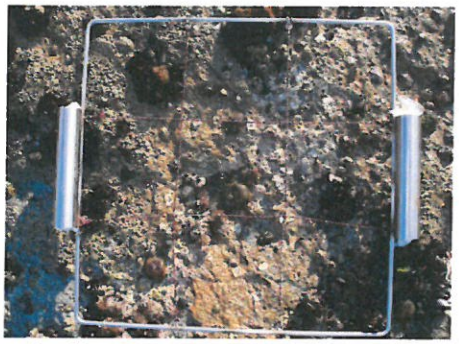
2) Cíes-mayo-extracción



3) Ons-mayo-control



4) Ons-mayo-extracción



5) Sálvora-mayo-extracción



6) Sálvora-mayo-extracción



7) Cíes-junio-control



8) Cíes-junio-extracción

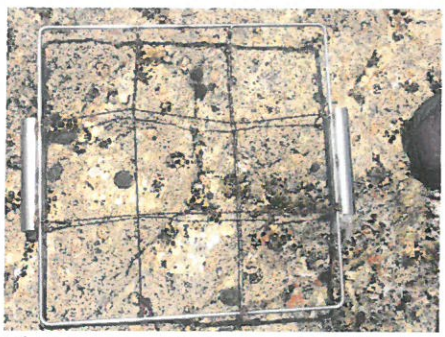
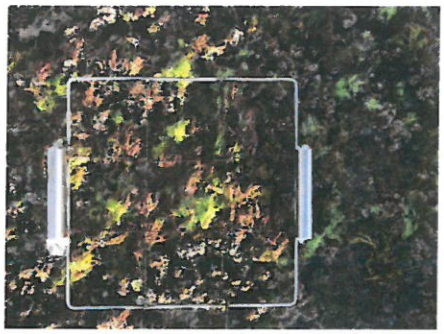
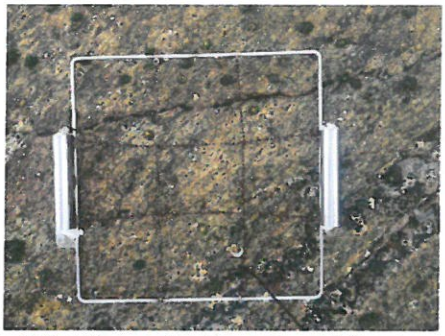


Fig. suppl. 1. Aspecto de la comunidad intermareal en zonas control y de extracción de semilla de mejillón a lo largo del estudio. En cada foto se muestra el cuadrado de muestreo (0,5 x 0,5 m).

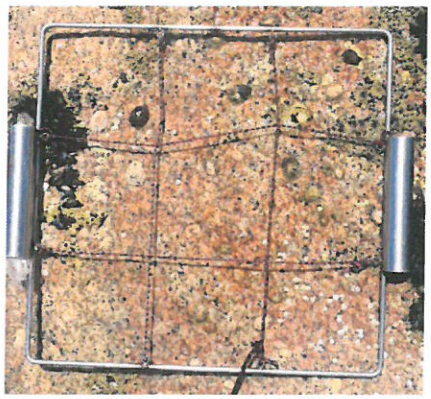
9) Ons-junio-control



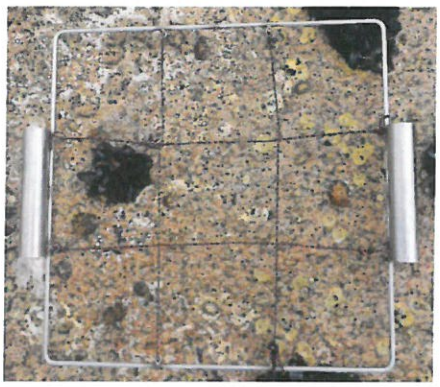
10) Ons-junio-extracción



11) Sálvora-junio-extracción



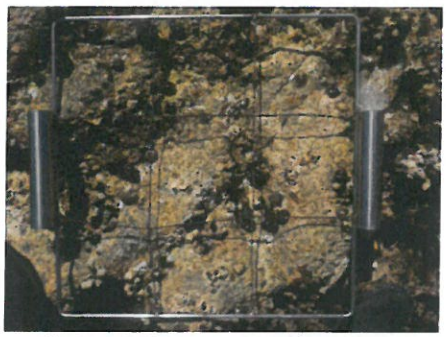
12) Sálvora-junio-extracción



13) Cíes-julio-control



14) Cíes-julio-extracción



15) Ons-julio-control

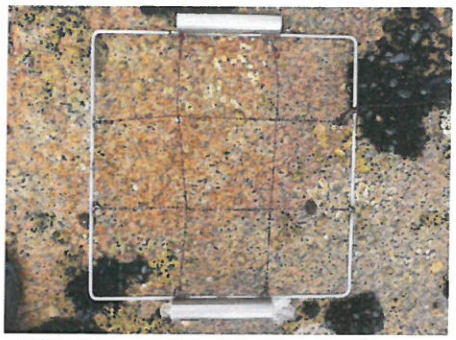


16) Ons-julio-extracción

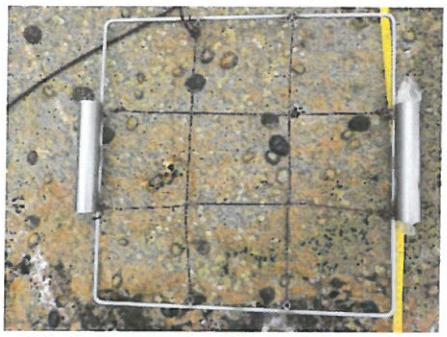


Fig. suppl. 1. cont.

17) Sálvora-julio-extracción



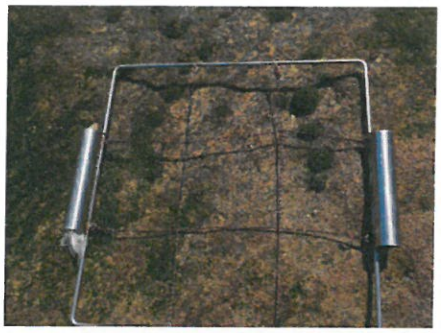
18) Sálvora-julio-extracción



19) Ons-septiembre-control



20) Ons- septiembre -extracción



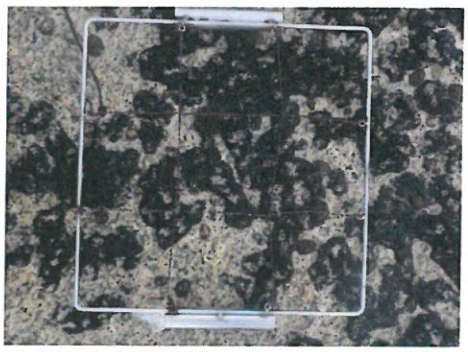
21) Cíes- septiembre -control



22) Cíes- septiembre -extracción



23) Sálvora- septiembre –extracción



24) Sálvora- septiembre –extracción

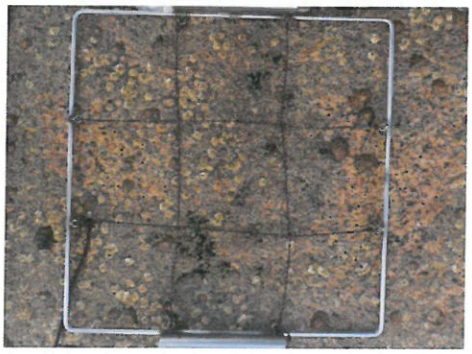
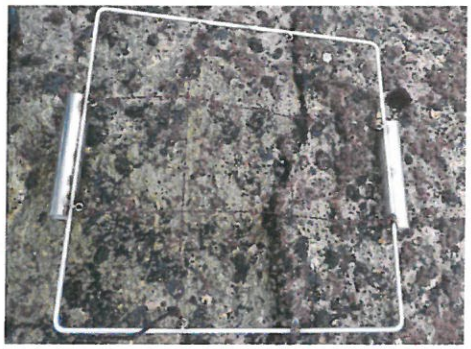


Fig. suppl. 1. cont.

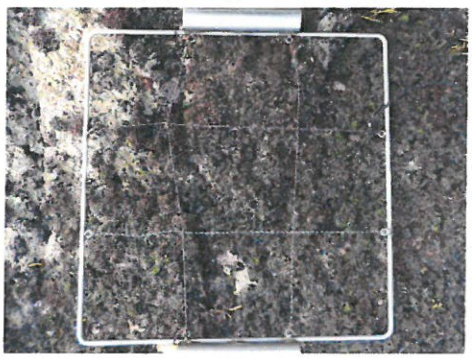
25) Ons-octubre-control



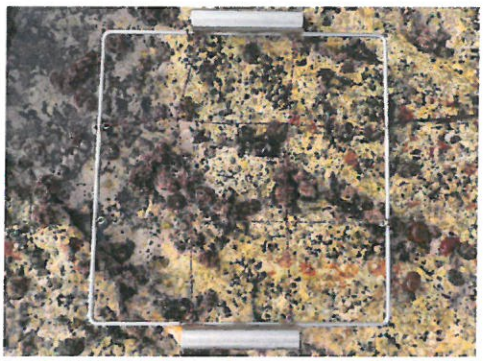
26) Ons- octubre –extracción



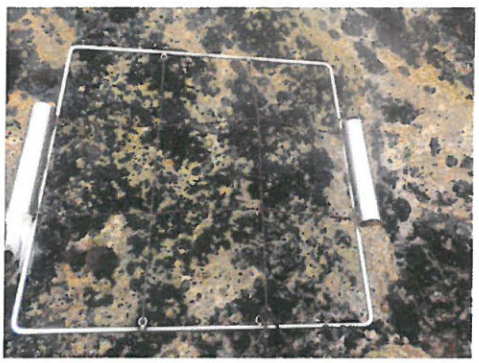
27) Cíes- octubre –control



28) Cíes- octubre –extracción



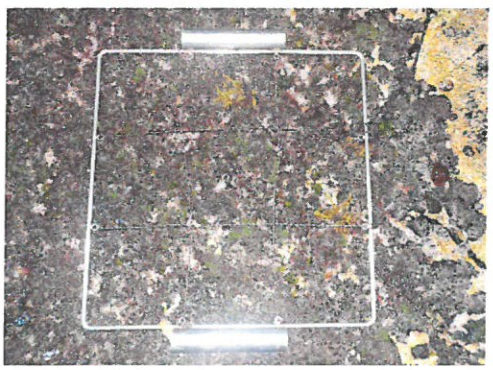
29) Sálvora- octubre –extracción



30) Sálvora- octubre –extracción



31) Ons-noviembre-control



32) Ons- noviembre –extracción

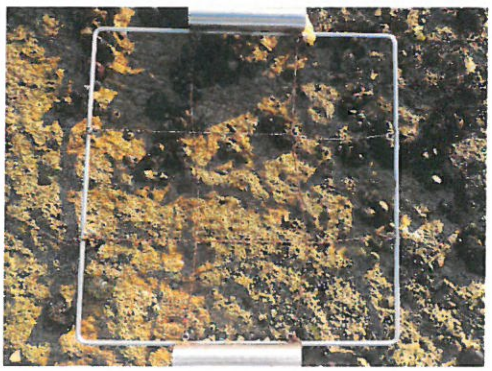
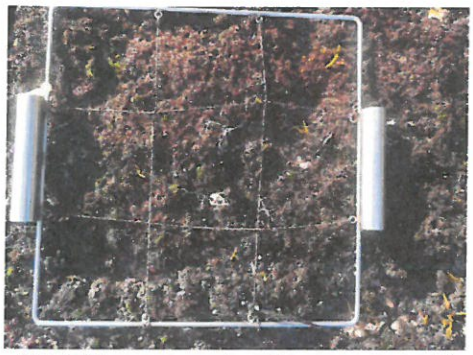
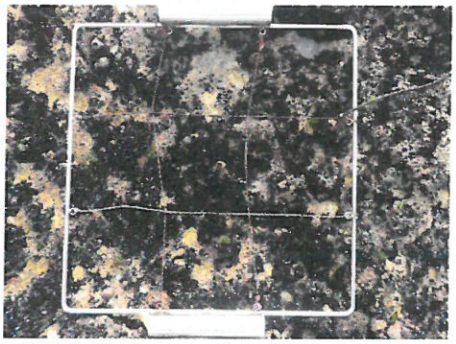


Fig. suppl. 1. cont.

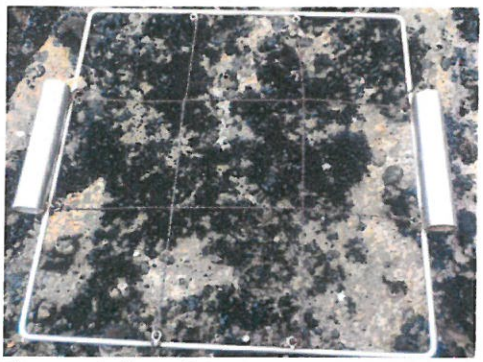
33) Cíes- noviembre –control



34) Cíes- noviembre –extracción



35) Sálvora- noviembre –extracción



36) Sálvora- noviembre –extracción

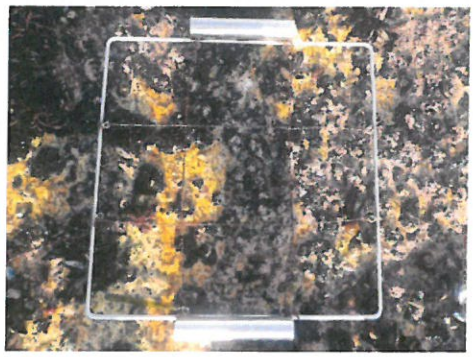


Fig. suppl. 1. cont.

Referencias

Anderson M.J. (2001). A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. *Austral Ecology*, 26, 32-46.

Anderson M.J., Gorley R.N. & Clarker K.R. (2008). PERMANOVA+ for PRIMER: Guide to Software and Statistical Methods. In. PRIMER-E Plymouth, UK.

Anderson M.J. & Robinson J. (2003). Generalized discriminant analysis based on distances. *Australian & New Zealand Journal of Statistics*, 45, 301-318.

Anon. (2010). STATGRAPHICS® Centurion XVI User Manual. In. StatPoint Technologies, Inc. USA.

Bray J.R. & Curtis J.T. (1957). An ordination of the upland forest communities of Southern Wisconsin. *Ecological Monographs*, 27, 326-349.

Brea Bermejo E. (2009). Cartografiado y dinámica de las poblaciones de los bancos naturales de semilla de mejillón en las costas atlánticas gallegas. In: *Zoología y Antropología Física*. Universidad de Santiago de Compostela Santiago de Compostela, p. 459.

Clarke K.R. & Gorley R.N. (2006). PRIMER v6: User Manual/Tutorial. In. PRIMER-E Plymouth, UK.

Manly B.F.J. (2005). *Multivariate statistical methods : a primer*. 3rd edn. Chapman & Hall/CRC Press, Boca Raton, FL.

McArdle B.H. & Anderson M.J. (2001). Fitting multivariate models to community data: A comment on distance-based redundancy analysis. *Ecology*, 82, 290-297.