

Version para profesores de la hoja de trabajo sobre la Sucesión

Este documento complementa la "Hoja de trabajo del estudiante sobre la sucesión" con más información previa para el profesor. La hoja de trabajo del estudiante por sí misma debe contener suficiente información para permitir a los estudiantes completar las tareas (si es necesario con alguna ayuda adicional de los recursos de la web).

| | |
|--|-----------|
| I. Objetivos pedagógicos | 2 |
| II. Antecedentes | 3 |
| II.1 Marco Experimental | 3 |
| II.2 Temarios | 3 |
| II.3 Contenidos de este conjunto de documentos | 4 |
| III. Análisis de los Datos | 4 |
| III.1 Factores Ambientales | 4 |
| III.2 Biomasa | 5 |
| III.3 Porcentaje de Cobertura | 5 |
| III.4 Diagrama de dispersión de la biomasa frente al porcentaje de cobertura | 6 |
| III.5 Identificación y recuento de especies | 6 |
| III.6 Riqueza de Especies | 8 |
| III.7 Biodiversidad | 8 |
| IV. Interpretación | 9 |
| IV.1 Patrones de temperature y salinidad | 9 |
| IV.2 Aumento de la biomasa con el tiempo | 10 |
| IV.3 Porcentaje de cobertura y biomasa | 10 |
| IV.4 Desarrollo de especies en los discos superiors e inferiores | 12 |
| IV.4.1 Algas | 12 |
| IV.4.2 Gusanos de tubo | 13 |
| IV.4.3 Pólipos | 14 |
| IV.4.4 Balanos | 14 |
| IV.5 Orden de aparición de los organismos | 15 |
| IV.6 Efectos de la temperature o de la salinidad | 15 |
| IV.7 Competición | 16 |
| IV.8 Biodiversidad | 16 |
| V. Otros recursos | 17 |

I. Objetivos pedagógicos

Los principales propósitos de los ejercicios de la hoja de trabajo del estudiante que acompaña a este documento son:

- proporcionar un "sustituto" de los datos reales de los experimentos de campo que no se pudieron realizar o completar por cualquier motivo,
- utilizar esos ejercicios como preparación para un proyecto, en el que los estudiantes podrán practicar la visualización y el análisis de los datos que generarán en su propio proyecto,
- entrenar a los estudiantes en la interpretación de los resultados de los gráficos y tablas,
- practicar la elaboración de un argumento basado en datos reales, y
- hacer que los estudiantes sean conscientes de los posibles escollos cuando planeen sus propios proyectos.

(Debe destacarse la importancia de este último punto porque los estudiantes suelen subestimar la necesidad de un análisis y una documentación durante un experimento. En los datos que aquí se presentan, habrá ambigüedades y errores rotundos por parte de los equipos que los registraron que probablemente plantearán problemas en el análisis).

Para este ejercicio puede ser necesario que los estudiantes tengan algunos conocimientos básicos sobre la sucesión biológica, la competencia y la vida en los medios acuáticos.

Como se explica en la hoja de trabajo, todos los datos presentados son datos reales: son los resultados de un proyecto de clase que debía ajustarse al tiempo disponible en el horario de la escuela. Por consiguiente, los requisitos científicos en términos de, por ejemplo, doble ciegos, redundancias o estimaciones de error tuvieron que reducirse para ajustarse al calendario. (Como ejemplo: una segunda estructura de discos también se desplegó como réplica o reemplazo en caso de que las muestras se dañaran o se perdieran. Sin embargo, el segundo bastidor no se analizó debido a la falta de tiempo). Por lo tanto, estos datos son una buena representación del tipo de resultado que se puede esperar al final de un proyecto de clase.

La hoja de trabajo proporciona una serie de tareas entre las cuales el profesor puede elegir aquellas que son apropiadas para las capacidades de los estudiantes y el objetivo de un curso. Al mismo tiempo, los datos están abiertos a la interpretación y por lo tanto no hay necesariamente respuestas correctas o incorrectas. La tarea de los estudiantes es analizar los datos disponibles, interpretarlos y hacer un argumento plausible para sus resultados. Para la evaluación de los resultados, a continuación se dan ejemplos de los posibles resultados de un análisis.

Las tareas centrales para los estudiantes son:

- visualización de los datos medidos,
- descripción de los resultados,
- interpretación y discusión de sus conclusiones.

Para la visualización, se proporcionan archivos de datos en formato LibreOffice y OpenOffice (.odt-files) y en formato Excel (.xlsx). Si los estudiantes no están familiarizados con la elaboración de gráficos en un software de hoja de cálculo, se pueden consultar en la web numerosos tutoriales (o videotutoriales) para los diferentes paquetes de software.

II. Antecedentes

II.1 Marco Experimental

Los datos utilizados aquí son de un proyecto estudiantil que tuvo lugar durante 10 semanas consecutivas en la primavera (del 26 de marzo al 28 de mayo) de 2018. El lugar fue un muelle en las afueras del Centro de Investigación Oceánica GEOMAR Helmholtz en Kiel, Alemania. La construcción de los discos, así como la recuperación y el análisis fueron realizados por los estudiantes.

El marco temporal del experimento fue elegido para ajustarse al horario de esa escuela en particular, pero también teniendo en cuenta las condiciones ambientales: en latitudes más altas, los despliegues invernales no suelen ser aconsejables, ya que no se instalarán organismos en los discos, o muy pocos. Los despliegues de verano son más interesantes y los proyectos durante este tiempo pueden ser más cortos. Según las especies autóctonas que se encuentren en la zona, la mayoría de los organismos desovan a finales de la primavera o principios del verano, es decir, tan pronto como se alcanza la temperatura requerida y hay suficiente alimento disponible para las larvas que se alimentan.

El procedimiento experimental descrito en la hoja de trabajo del estudiante es una variación del enfoque VIRTUE-s (véase <https://virtue-s.eu/> para más detalles).

Cabe destacar una vez más que el diseño de este experimento se adaptó al horario de la escuela y al tiempo que los estudiantes pudieron dedicar al proyecto. La forma sencilla de examinar la sucesión en los discos habría sido

- Poner un (o mejor: varios) discos en el agua a principios de la primavera, luego examinarlos cada semana por un período de 10 semanas para ver qué crecimiento adicional ha ocurrido en la semana anterior, y volver a ponerlos en el agua hasta la semana siguiente. (Nótese, sin embargo, que esto es bastante difícil sin dañar el crecimiento de los discos). O:
- desplegar 10 discos al mismo tiempo a principios de la primavera y recuperar y examinar uno de ellos cada semana.

Como era mucho más fácil para la escuela hacer que toda la clase examinara todos los discos juntos en un solo día, se eligió un "enfoque inverso", donde se desplegó un disco cada semana y después de 10 semanas todos los discos fueron recuperados y analizados al mismo tiempo.

Esto, sin embargo, tiene implicaciones para la interpretación de los resultados, que abordaremos a continuación.

II.2 Temarios

Dependiendo de la configuración, con este tipo de método se pueden abordar una serie de temas ecológicos diferentes.

(Los aspectos considerados en esta hoja de trabajo se destacan en negrita).

1. Diferencias y similitudes de la sucesión ecológica entre los medios terrestres y acuáticos.
2. **Comparación del reclutamiento de primavera, verano y otoño.**
3. **Efectos de la disponibilidad de luz en la estructura de la comunidad.**
4. **Desarrollo de la diversidad de especies con el tiempo.**
5. Cambios en la estructura de la comunidad con el tiempo.
6. Comparación de la sucesión en dos lugares acuáticos diferentes.
7. Fenología vs. Sucesión.
8. Otros...

II.3 Contenidos de este conjunto de documentos

La hoja de trabajo del alumno incluye:

- Información sobre los materiales y métodos utilizados en el experimento.
- Una descripción de los métodos de análisis de los discos después de la recuperación.
- Los datos obtenidos por la clase de la escuela.
- Archivos de datos para usar con el software de la hoja de cálculo.
- Tareas para los estudiantes y consejos para ayudar a la interpretación de sus resultados.

La versión para el profesor asume que el profesor esté familiarizado con el contenido de la hoja de cálculo del estudiante. Añade:

- Ejemplos para visualizar los resultados en diagramas.
- Ejemplos para la interpretación de los resultados (incluyendo hechos e información adicional sobre el reclutamiento de los organismos incrustantes más comunes).

III. Análisis de los Datos

Las tablas con los datos y las tareas de visualización están en la hoja de trabajo del estudiante. Aquí, procederemos directamente a los gráficos resultantes. (Todas las figuras mostradas en este documento fueron creadas con LibreOffice usando los datos de la hoja de cálculo proporcionada con este ejercicio).

En esta sección mostraremos ejemplos de gráficos que muestran los resultados esperados de las tareas correspondientes en la hoja de trabajo del estudiante, antes de continuar con la discusión y el análisis en la siguiente sección.

III.1 Factores Ambientales

La temperatura de la superficie del mar y la salinidad se registraron a intervalos semanales durante el experimento (Figura 1).

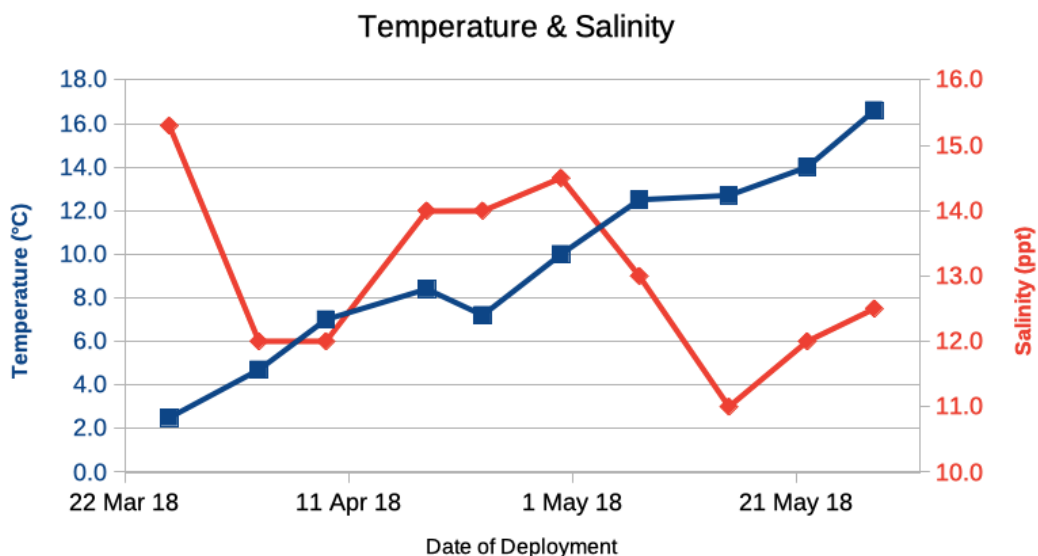


Figura 1: Patrones de temperatura y salinidad durante las 10 semanas del proyecto

Observe que, a diferencia de los siguientes gráficos, la Figura 1 la fecha de colocación de los discos está en el eje x. Este será un punto a tener en cuenta más adelante, cuando se usen "semanas en el agua" como variable de tiempo.

III.2 Biomasa

Los datos de la biomasa en la parte ascendente y descendente de la placa de Petri (ver Fig. 1 en la hoja de trabajo de estudiante) se muestran en la Figura 2.

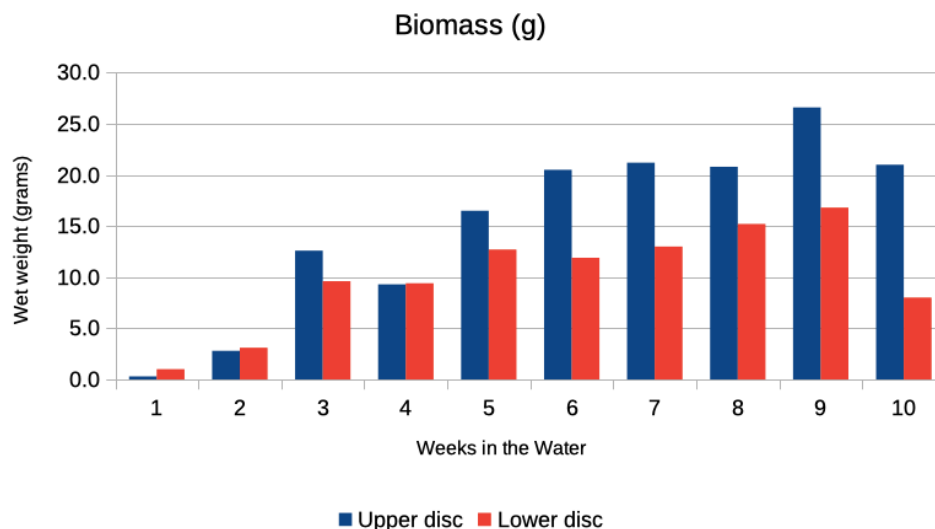


Figura 2: Biomasa final (peso húmedo) después de diferentes períodos de tiempo en el agua durante el proyecto de 10 semanas.

A partir de ahora, "semanas en el agua" se utilizará como variable de tiempo. Obsérvese que, aunque es tentador utilizar frases como "el disco de la semana 3", esto puede dar lugar a ambigüedades porque no se refiere a la semana 3 del experimento: El disco que ha estado en el agua durante 3 semanas fue en realidad desplegado en la semana 8 del experimento, es decir, el 15 de mayo. En este documento, la palabra semana siempre se referirá a las semanas en el agua para denotar las diferentes duraciones de exposición.

III.3 Porcentaje de Cobertura

La estimación visual del porcentaje de cobertura que se dio como tarea a los estudiantes es un método bastante subjetivo con una precisión de tal vez el 10%. La ventaja de este método, sin embargo, es que es rápido y que incluso los alumnos más jóvenes pueden hacerlo por sí mismos. A partir de las fotos proporcionadas con la hoja de trabajo de los alumnos, se obtuvieron los siguientes resultados mediante estimación visual:

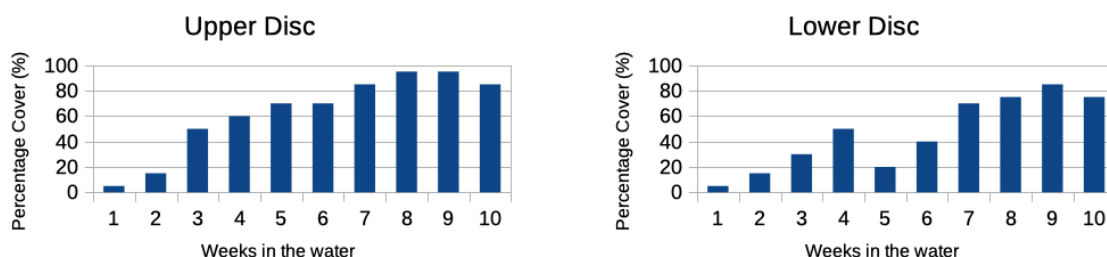


Figura 3: Serie cronológica de Porcentaje de cobertura (%) de los discos superiores e inferiores

Si los estudiantes trabajaron en equipo e hicieron estimaciones individuales, sus resultados probablemente diferirán entre un 5 y un 10%. Esto les dará una idea de la precisión y fiabilidad de este método.

III.4 Diagrama de dispersión de la biomasa frente al porcentaje de cobertura

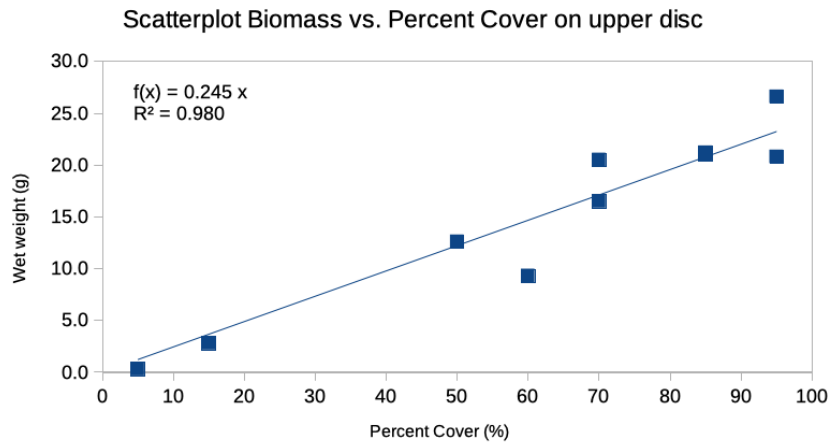
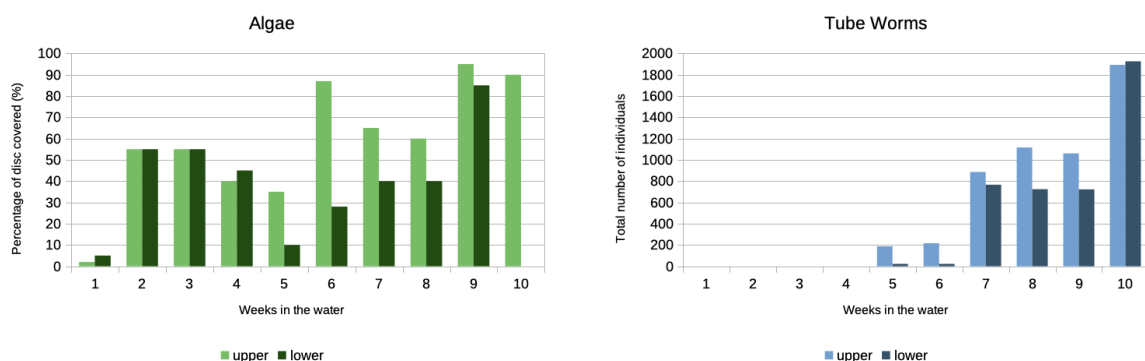


Figura 4: Diagrama de dispersión y línea de regresión para la biomasa (en gramos) vs. porcentaje de cobertura (%) para los discos superiores.

. LibreOffice calcula un coeficiente de correlación de 0,96 para las dos variables. Aunque esta correlación es alta (y estadísticamente significativa con un valor de probabilidad $p < 0,001$), no hay que olvidar que sólo se trata de 10 medidas.

III.5 Identificación y recuento de especies

Los resultados que se dan en la Tabla 3 de la Hoja de Trabajo del Estudiante pueden ser presentados de diferentes maneras. El número de organismos puede ser graficado en gráficos de columna individualmente para cada especie (Figura 5):



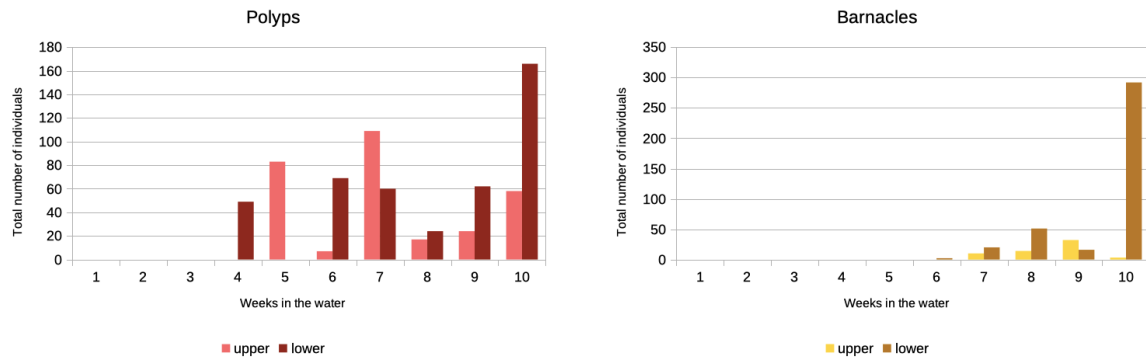


Figura 5 : Desarrollo de la composición de las especies en un disco a lo largo del tiempo. El porcentaje de cobertura (algas) y el número de individuos (gusanos de tubo, pólipos, balanos) se muestran para los discos superiores e inferiores.

Los diagramas también pueden combinarse para todos los organismos (Figure 6). (Se observe que ahora el número de organismos se muestra en una escala logarítmica).

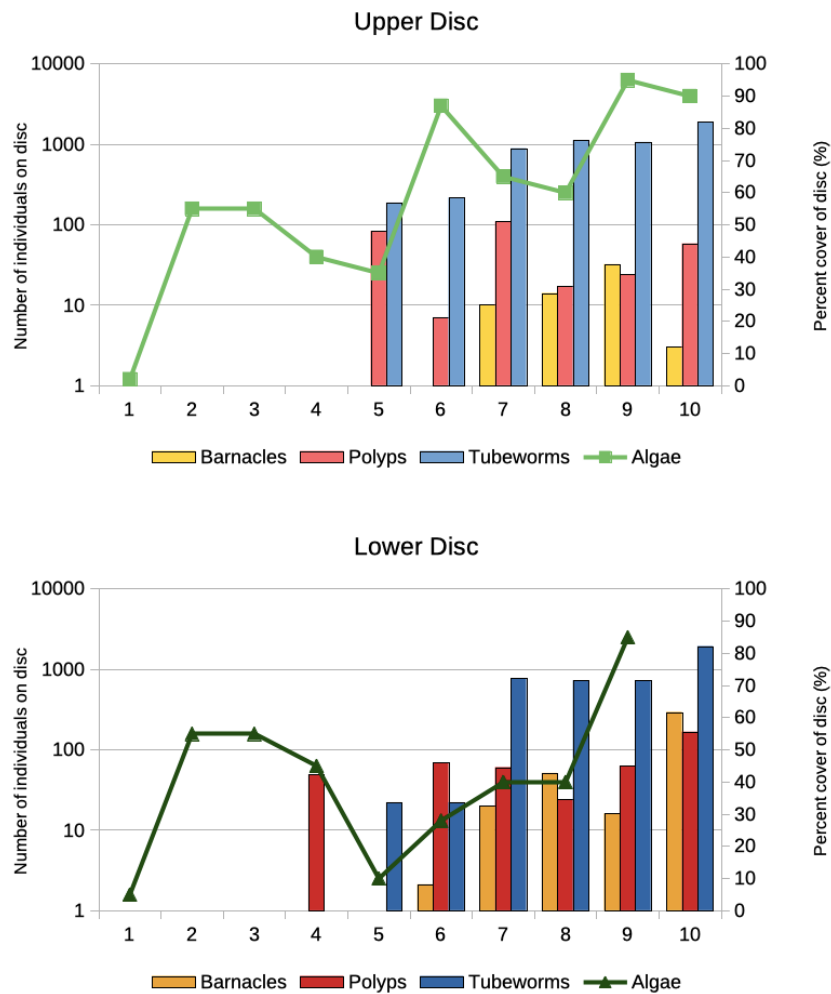


Figure 6: Sucesión de organismos incrustantes en el disco superior e inferior. La línea muestra el crecimiento de las algas (eje Y derecho) y las columnas el número total de invertebrados (eje Y izquierdo; nótese que la escala es logarítmica).

III.6 Riqueza de Especies

Simplemente contando cuántas especies diferentes están presentes en los discos para cada semana, se construyó un diagrama que muestra el cambio en la riqueza de especies con el tiempo. (Figure 7).

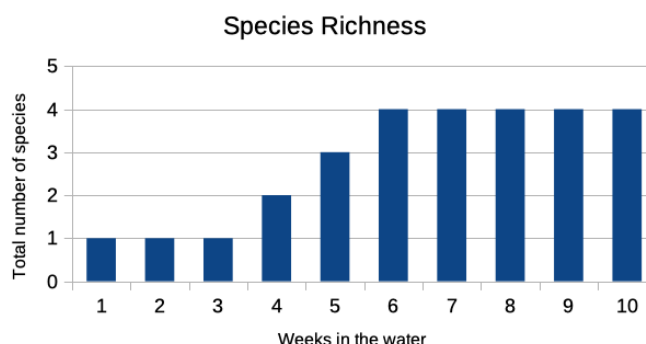


Figure 7: Cambio de la riqueza de especies en los discos con el tiempo

La riqueza de especies en los discos aumenta con el tiempo. En la semana 6, ha alcanzado su máximo en términos del número de especies consideradas en este estudio) y no vuelve a disminuir después de eso.

III.7 Biodiversidad

El cálculo de los índices de biodiversidad se describe en otra parte del conjunto de documentos de VIRTUE-s (vease <https://virtue-s.eu/es/contenidoen-espanol/cuantificacionanalisis>).

Aquí, utilizamos el Índice de Diversidad D de Simpson (véase la hoja de trabajo del estudiante, sección IV.7) para comparar la biodiversidad de los discos superiores e inferiores más antiguos al final del experimento (semana 10):

| Disco Superior | n | Σ | N | D |
|-----------------------|------|----------|------|------|
| Gusanos de tubo | 1893 | | | |
| Pólipos | 58 | 3584868 | 1954 | 0.06 |
| Balanos | 3 | | | |
| | | | | |
| Disco Inferior | | | | |
| Gusanos de tubo | 1926 | | | |
| Pólipos | 166 | 3819912 | 2384 | 0.32 |
| Balanos | 292 | | | |
| | | | | |

Tabla 1: Componentes del cálculo del Índice de Simpson.

IV. Interpretación

Utilizando los diagramas anteriores, los estudiantes pueden ahora interpretar el desarrollo de cada una de las especies, así como comparar el crecimiento de las especies individuales en el disco superior y el disco inferior. Si analizan los datos con atención, también encontrarán algunas contradicciones en los datos que abordaremos a continuación.

Una vez más, la numeración utilizada aquí corresponde a los números de las tareas en la hoja de trabajo del estudiante:

Las tareas 1 - 3 se refieren principalmente a la descripción de las características encontradas en los diagramas y a dar interpretaciones muy simples. Las tareas 4 - 8 profundizan en el análisis de los datos biológicos y sus interpretaciones.

Aunque no todos los diagramas son necesarios para cada tarea, los estudiantes deben ser conscientes de todos los diagramas y ser capaces de utilizarlos para sus argumentos. (En la siguiente discusión, las figuras que ya se mostraron anteriormente se repetirán para facilitar la lectura).

Es importante tener en cuenta que estos datos se produjeron sin repeticiones y que cada número resultó del análisis de un solo disco. Por consiguiente, las explicaciones tienen que seguir siendo especulativas, mientras que en un estudio científico real, las réplicas reforzarían la fiabilidad de los datos y su interpretación. No obstante, éste será un buen ejercicio para que los estudiantes examinen las causalidades y hagan deducciones educadas basadas en los datos.

IV.1 Patrones de temperature y salinidad

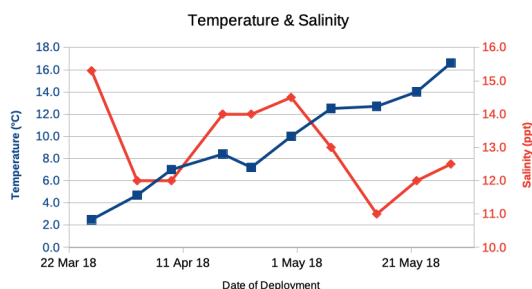


Figura 8: Patrones de temperature y salinidad durante las 10 semanas del proyecto

La temperatura mostró un aumento constante en primavera, desde una fría temperatura invernal de 2,5 °C a finales de marzo hasta 16,6 °C a finales de mayo. Este aumento de temperatura refleja claramente el calentamiento estacional de la superficie del mar, con una leve interrupción en la semana del 23 de abril (es decir, correspondiente al 5º despliegue).

La salinidad varió entre 11,0 y 15,3 ppt. Las salinidades entre 14 y 20 ppt son normales en esta parte del Mar Báltico, pero no son raras las salinidades ligeramente más altas o más bajas. Sin embargo, en particular en las dos primeras semanas de mayo se produjo una marcada disminución de la salinidad hasta su valor mínimo antes de que empezara a aumentar de nuevo. La razón de los cambios en la salinidad no es obvia. Puede haber habido lluvia o entrada de agua dulce de un río. (Si los estudiantes introducen las coordenadas del lugar de muestreo en Google maps o en un software similar y hacen un acercamiento, pueden ver el pequeño río Schwentine al este del lugar de muestreo. Desde aquí, las salinidades inferiores (agua dulce mezclada con el agua circundante) pueden alcanzar la posición del bastidor). Todas estas interpretaciones son plausibles.

IV.2 Aumento de la biomasa con el tiempo

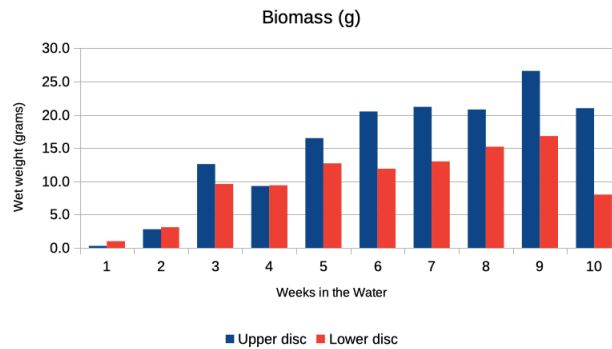


Figura 9: Biomasa final (peso húmedo) después de diferentes períodos de tiempo en el agua durante el proyecto de 10 semanas.

Generalmente, la biomasa de los discos inferiores es menor que la de los superiores. Esto indica que o bien hay menos crecimiento en los discos que miran hacia abajo, o las especies que crecen allí tienen menos biomasa.

La biomasa muestra un aumento casi continuo con una duración creciente de despliegue. Hay algunas ligeras variaciones que pueden deberse a las diferentes condiciones iniciales cuando se colocaron los discos, pero éstas son menores. Sin embargo, en los discos más antiguos aparece una pronunciada disminución de la biomasa: tanto el disco superior como el inferior, que han estado en el agua durante 10 semanas, tienen una biomasa significativamente menor que los discos que se desplegaron una semana después.

Aunque no siempre es necesariamente cierto, es razonable suponer que cuanto más tiempo hayan estado los discos en el agua, más organismos deberían asentarse o crecer en ellos (al menos hasta cierto punto). Sin embargo, también puede haber una pérdida (¿continua/periódica?) de biomasa debido al herbivorismo y la depredación por parte de los organismos que "visitan" los discos, como los peces o los caracoles. También se podría especular que la pérdida de biomasa en los discos puede ocurrir por estrés mecánico (¿acción de las olas durante las tormentas?) o por una manipulación descuidada durante la recuperación o el análisis. Cada una de estas interpretaciones es válida, y no tenemos forma de determinar cuál es la correcta.

IV.3 Porcentaje de cobertura y biomasa

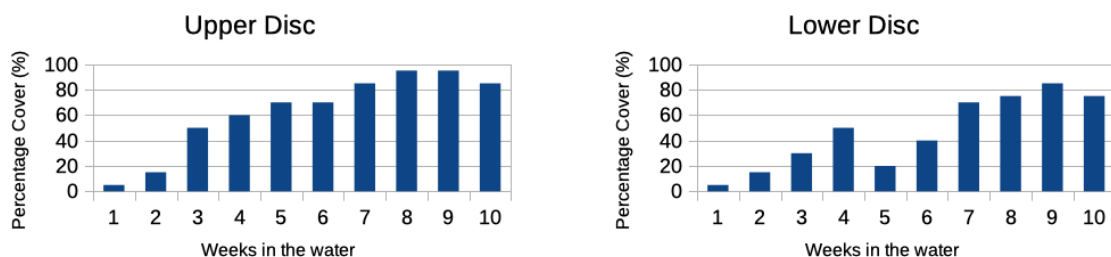


Figura 10: Serie cronológica de la cobertura porcentual (%) de los discos superiores e inferiores

Aunque las tendencias en el porcentaje de cobertura son muy similares a las de la biomasa, esto no es válido para todos los detalles de las series temporales. Mientras que en los discos superiores hay un aumento casi constante del porcentaje de cobertura con el tiempo de exposición, los discos inferiores muestran una marcada disminución del porcentaje de cobertura entre 4 y 5 semanas en el agua. Tanto la cobertura porcentual como la biomasa muestran una disminución entre la semana 9 y 10, pero esto es mucho más pronunciado en la biomasa que en la cobertura porcentual.

Tanto la biomasa como la cobertura porcentual dan cifras totales más altas para los discos superiores que para los inferiores, lo que indica que el crecimiento es más vigoroso en los discos orientados hacia arriba

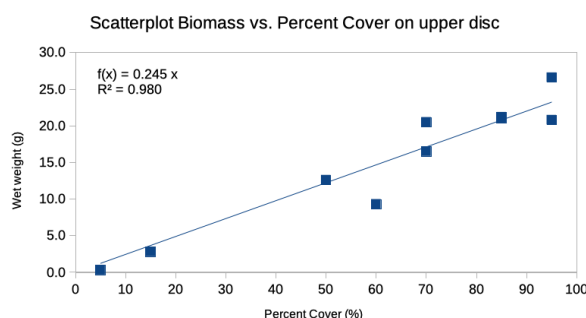


Figura 11: Diagrama de dispersión y línea de regresión para la biomasa (g) vs. porcentaje de cobertura (%) para los discos superiores

Al menos para los discos superiores, existe una clara correlación lineal entre el porcentaje de cobertura y la biomasa. El alto y estadísticamente significativo coeficiente de correlación de 0,96 parece confirmarlo. (Para los discos inferiores, el coeficiente de correlación es menor con 0,72, pero aún así significativo).

Claramente, uno se esperaría que la biomasa se correlacionara inicialmente con el porcentaje de cobertura, al menos hasta el punto en que el disco está completamente colonizado (100% de cobertura) y el crecimiento de la biomasa continúa en capas superpuestas. La relación no tiene que ser lineal porque los diferentes organismos añaden diferentes cantidades de biomasa por unidad de superficie. El hecho de que veamos un mayor declive de la biomasa que el porcentaje de cobertura entre las semanas 9 y 10 podría deberse al gran porcentaje de cobertura ya presente: en la semana 9 los discos superiores estaban casi completamente colonizados y los discos inferiores también estaban cubiertos en más del 80%. Se podría sospechar que en el disco que estuvo en el agua durante 10 semanas, ya se había producido el crecimiento en varias capas y que de alguna manera (tal vez durante la acción de las fuertes olas) se perdieron las capas superiores del crecimiento (llevando consigo la biomasa - presumiblemente sobre todo algas -), mientras que las capas inferiores permanecieron y todavía cubrieron en su mayoría las mismas, pero ahora con una biomasa considerablemente menor. Esta hipótesis se apoya en las fotos de los discos después de 9 y 10 semanas. (Sin embargo, como ya se ha discutido en la última sección, la manipulación descuidada durante el transporte también puede ser la causa).

IV.4 Desarrollo de especies en los discos superiores e inferiores

IV.4.1 Algas

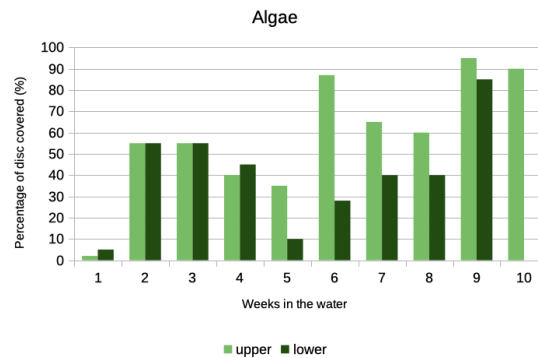


Figura 12: Porcentaje de cobertura (%) de las algas

Aparentemente, las algas de la parte superior e inferior crecen igual de rápido en discos que han estado en el agua por menos de 4 semanas. Parece que "exploten" desde la semana 1 a la 2, desde menos del 5% a más del 50% de cobertura. Sin embargo: los estudiantes diligentes probablemente notarán que algunos de los otros datos, es decir, las fotos de la semana 2 (Figura 2 en la hoja de trabajo para estudiantes), las estimaciones de la cobertura total (Figura 3 en este documento) y el desarrollo de la biomasa (Figura 2 en este documento), están en completa contradicción con los números reportados para el porcentaje de cobertura de las algas en la semana 2. Si simplemente por el hecho de que una estimación de la cobertura de algas por sí sola no puede ser significativamente mayor que una estimación de la cobertura total, tenemos que concluir que los números de la semana 2 no han sido reportados correctamente por el equipo de estudiantes responsables de esos discos.

Así que, ignorando el aparente rápido crecimiento inicial de las algas, ¿qué más podemos decir? Dado que ya vemos algunas algas después de la semana 1, sigue siendo plausible argumentar que las algas son las primeras en poblar los discos, particularmente en la época del año de los despliegues tardíos (de alrededor de los discos 6 a 1, es decir, de mediados de abril a principios de junio) donde definitivamente habría suficiente luz solar.

Los datos de la semana 3 y 4 indican que inicialmente el crecimiento de las algas se produce a ritmos similares en los discos superiores e inferiores. Sin embargo, en los discos más antiguos (semana 5 y superiores), hay notablemente menos algas en los discos inferiores. Esto puede deberse al sombreado. Cuando las algas (y otros organismos) de los discos superiores cubren una buena parte de la superficie, esto puede reducir la luz que llega al disco inferior, lo que dificulta que las algas de allí crezcan a su máximo potencial.

La reducción del crecimiento de las algas en los discos superiores de las semanas 4 y 5 en relación con la semana 3 parece de nuevo cuestionable a la luz de las fotos. Aunque el tipo exacto de crecimiento no se puede determinar a partir de las fotos, en la semana 4 no se ha contado ninguna otra especie en el disco superior y en la semana 5 sólo un número comparativamente pequeño de gusanos tubulares. Por lo tanto, tenemos que asumir que las fotos muestran mayormente algas, y la cubierta parece ser tan alta o más alta que en la semana 3.

Para el disco más antiguo (semana 10), no tenemos ningún número de algas en el disco inferior, pero como se discutió anteriormente (sección IV.3) tenemos que asumir que una gran parte de las algas se perdió en ese disco.

IV.4.2 Gusanos de tubo

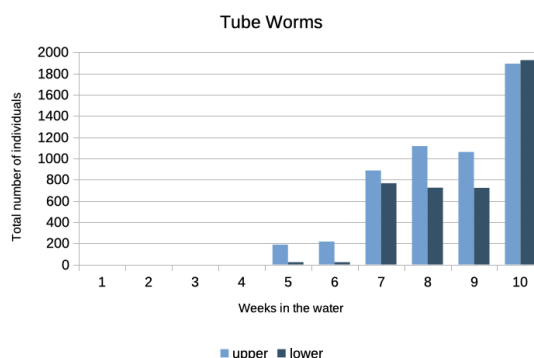


Figura 13: Número de individuos de gusanos de tubo.

Los gusanos de tubo son la especie más abundante en los discos. (Nótese que su número total alcanza casi 2000 individuos en el disco más antiguo, donde los balanos sólo llegan a cerca de 300.) No aparecen en los discos más jóvenes en absoluto, y en los discos superiores sólo en aquellos que han sido desplegados más de 5 semanas (es decir, antes de finales de abril). En los discos inferiores se observa un aumento sustancial del número de individuos sólo después de 7 semanas en el agua. Parece haber cambios abruptos en el crecimiento a ambos lados de los discos entre las semanas 6 y 7 y 9 y 10.

Los gusanos de tubos crecen preferentemente en el disco superior (semanas 5 a 9). (Sin embargo, en los discos más viejos (semana 10) el crecimiento en el lado inferior se reporta como ligeramente más fuerte que en el lado superior).

Como se indica en los consejos para los estudiantes, *Polydora sp.*, la especie de gusano de tubo que se encuentra en estos discos, construye sus tubos a partir de los sedimentos que se asientan en los discos. Esto puede explicar el reclutamiento preferencial en el disco superior: las corrientes son lo suficientemente débiles como para permitir que los sedimentos se acumulen en los discos en 4 semanas. Para los discos inferiores la situación es menos clara: aunque el sedimento no "caería hacia abajo" desde arriba como en los discos superiores, aún podría ser llevado allí por el movimiento del agua y luego adherirse a la superficie. Parece probable, sin embargo, que este sedimento estaría compuesto por partículas más ligeras y tardaría más en acumularse, lo que explicaría el menor número de gusanos tubulares en los discos inferiores.

El inesperado gran número de gusanos de tubos en el disco inferior en la semana 10 es difícil de explicar. Podría haber una conexión con la pérdida de biomasa en ese disco (véase la sección IV.7 a continuación) o podría ser también un simple error de recuento.

IV.4.3 Pólipos

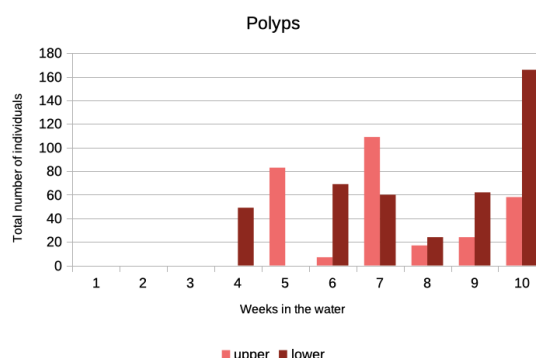


Figura 14: Número de pólipos

Los primeros pólipos aparecen en el disco (inferior) que había sido desplegado durante 4 semanas, pero su aparición posterior es algo errática: en los discos de la semana 5, sólo están en el disco superior, en la semana 6 principalmente en el disco inferior. La población parece ser muy baja en los discos de la semana 8, mientras que en los discos más antiguos se encuentran números más altos.

Inicialmente, los pólipos de este experimento no muestran una clara preferencia por el disco superior o inferior, pero para los 3 discos más antiguos parece establecerse una preferencia por el disco inferior.

Las larvas de planula de los pólipos, específicamente de *Obelia sp.*, son positivamente fototáticas mientras aún están a la deriva en el agua como plancton, pero se vuelven negativamente fototáticas cuando llega el momento de asentarse. Esto nos llevaría a esperar más pólipos en los "lugares sombreados", es decir, en los discos inferiores.

IV.4.4 Balanos

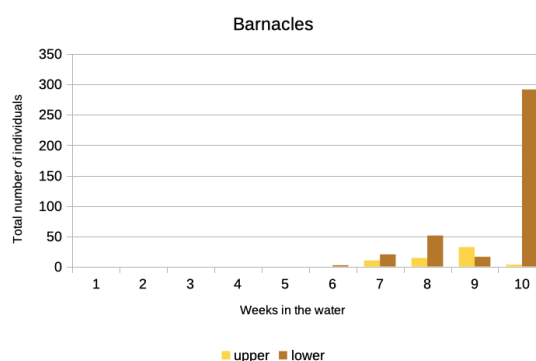


Figura 15: Número de individuos de balanos

No se encontraron balanos en los discos que habían estado en el agua por menos de 6 semanas (es decir, desplegados después del 23 de abril). Esto podría significar que el asentamiento de los balanos se terminó a mediados de abril, o que los que llegaron más tarde no se asentaron todavía porque requieren la presencia de algo más en los discos antes de poder colonizarlos.

Excepto el disco de la novena semana, los balanos se asientan preferentemente en los discos más bajos, con números muy altos en la parte inferior del disco más antiguo.

Como se indica en las pistas para los estudiantes, la liberación de larvas de balanos por los animales adultos está determinada por la concentración de fitoplancton y por la turbidez. Coincide en su mayor parte con la floración del fitoplancton en primavera, que en este lugar suele producirse entre marzo y mediados de abril. Después del desove, las larvas de balanos son planctónicas y positivamente fototácticas. Esto es una ventaja ya que se alimentan de fitoplancton que es abundante en la columna de agua superior. El último estadio larvario, la larva *Cypris*, es el estadio que finalmente se asienta en un sustrato después de algunos días o semanas. Por lo tanto, si los balanos liberan las larvas de marzo a mediados de abril, esperamos verlos asentarse en los discos a finales de abril o mayo. No obstante, debido a la incertidumbre en cuanto al momento (no tenemos datos sobre la presencia o ausencia de larvas de ciprés en el agua), la segunda de nuestras hipótesis iniciales no puede descartarse a partir de estos datos: es concebible que los balanos no se asienten en una superficie "en blanco" antes de que al menos una fina biopelícula se haya establecido en ella.

Debido a que el estadio de larva *Cypris* es negativamente fototáctico, preferiría el asentamiento en el disco inferior. Además, los balanos son alimentadores de filtro y obtienen su alimento "filtrando" las partículas de comida de la columna de agua. Por consiguiente, para los que se asientan en los discos superiores, los sedimentos que caen sobre los discos pueden obstruir su aparato de filtración y ponerlos en desventaja.

IV.5 Orden de aparición de los organismos

Estrictamente hablando, a partir de este experimento no es posible determinar el orden de aparición de las especies. En lugar de seguir la historia temporal de un solo disco, el crecimiento en los discos que se desplegaron en diferentes momentos y por períodos cada vez más breves se examinó simultáneamente al final del experimento. s

Por lo tanto, no sabemos cuándo se asentó realmente la primera macroalga en el disco que había estado en el agua durante 10 semanas. Sin embargo, en el Báltico las esporas de las algas están presentes durante todo el año y en marzo hay suficiente luz para apoyar el crecimiento y el desarrollo de las algas. Además, se encontraron algas en todos los discos en todas las semanas del experimento. Por lo tanto, parece seguro asumir a partir de los datos que las macroalgas fueron las primeras en asentarse en cada disco.

En el caso de los gusanos de tubo, argumentamos que el sedimento tiene que haberse acumulado en el disco hasta ahora vacío antes de que se pueda lograr un asentamiento exitoso. Para los pólipos, no hay un argumento claro para ningún punto en particular en el tiempo. La aparición de balanos en los discos coincide con la fenología/estacionalidad del reclutamiento. De hecho, para todas las especies animales los ciclos de reproducción probablemente jugarían un papel, que a su vez podría depender de la temperatura del agua.

Por lo tanto, sobre la base de los datos disponibles, el orden de aparición de los organismos en los discos en este experimento es:

Macroalgas primero, gusanos de tubos y pólipos segundo, balanos por últimos.

IV.6 Efectos de la temperature o de la salinidad

El alga más común, *Ectocarpus*, tiene dos etapas en su ciclo de vida, un gametofito haploide, que es menos tolerante a los cambios de salinidad y un esporofito diploide más tolerante. En cuanto a la baja cobertura de algas en el disco de la quinta semana (Figura 5 y Figure 6), se puede especular que esto puede haber sido causado por la disminución repentina y persistente de la salinidad que se produjo justo después del despliegue a finales de abril (Figura 1). Las algas jóvenes que se asentaron durante este tiempo pueden haberse estresado con las salinidades muy bajas, lo que puede haber influido en su crecimiento y desarrollo en las semanas siguientes. Las algas que se asentaron antes en discos que habían estado en el agua unas semanas más pueden haber alcanzado una etapa más tolerante en su ciclo de vida y, por lo tanto, se vieron menos gravemente afectadas.

Con respecto a la temperatura, es muy posible que la temperatura del agua influya en la liberación de las larvas, pero esto no se aprecia de los datos.

IV.7 Competición

En cuanto a la posible competencia por el espacio, es evidente que los primeros en llegar tendrían una ventaja, a menos que los que lleguen tarde logren desplazarlos o se beneficien de las influencias externas que afectan a un competidor.

Como se ha señalado anteriormente, en esta época del año los primeros en llegar parecen ser las algas, con gusanos de tubos y pólipos después de eso. No hay indicios de una competencia por el espacio entre los gusanos de tubos y las algas. Los gusanos de tubo bien podrían construir sus tubos debajo de las algas: no necesitan luz, y las algas no se verían afectadas por las estructuras tubulares. Al menos en las últimas etapas de crecimiento de los discos, los pólipos y las algas, así como los pólipos y los gusanos de tubos no parecen competir por el espacio porque los pólipos se encuentran principalmente en la parte inferior mientras que las algas y los gusanos pueblan la parte superior. Teóricamente, podría haber competencia por el espacio entre las larvas de asentamiento de los pólipos y los balanos: ambos evitan la luz y se asientan preferentemente en el disco inferior. Sin embargo, cuando los balanos se asentaron finalmente, todavía había más de un 20% de espacio libre en los discos inferiores (Figura 3). Además, ambas especies pueden coexistir entre sí porque no compiten por la comida: los balanos son filtradores (comen fitoplancton y detritus) y los pólipos son depredadores que se alimentan de zooplancton pequeño. Por otro lado, los balanos que pueden haber intentado asentarse en la parte superior de los discos encontraron muy poco espacio que quedaba allí. Incluso si se asentaron en la parte superior de los discos (Figura 15), probablemente se asfixiaron eventualmente por algas, gusanos de tubos y sedimentos.

Se podría plantear un argumento interesante para una competencia en la parte inferior de los discos entre las algas y las tres especies animales: la imagen del disco más antiguo indica que la mayor parte de su crecimiento de algas puede haberse caído en algún momento, abriendo así espacio para que las otras especies lo recuperen. Esto podría explicar el número total comparativamente alto de cada una de las otras tres en la parte inferior del disco de la semana 10.

Sin embargo, cabe señalar que no hay una clara separación entre las especies. Aunque hay períodos intermedios durante las etapas iniciales de asentamiento en los que algunas especies pueden encontrarse sólo en la parte superior o inferior del disco pero no en ambas (semanas 4 a 6), en la etapa de asentamiento más "madura" cada especie que está presente en un lado de los discos está también presente en el otro. Con respecto a la posible competencia por el espacio, es evidente que los primeros en llegar tendrían una ventaja, a menos que los que lleguen tarde logren desplazarlos o se beneficien de las influencias externas que afectan a un competidor.

IV.8 Biodiversidad

Para el disco que ha estado en el agua durante 10 semanas, el índice de Simpson es de 0,06 para el disco superior y 0,32 para el inferior (referencia Tabla 1).). Así, la posibilidad de elegir al azar dos individuos que no son de la misma especie es sólo del 6% para el disco superior mientras que aumenta al 32% para el inferior. Aunque la riqueza de especies es mayor en el disco inferior, el valor absoluto sigue siendo bastante bajo.

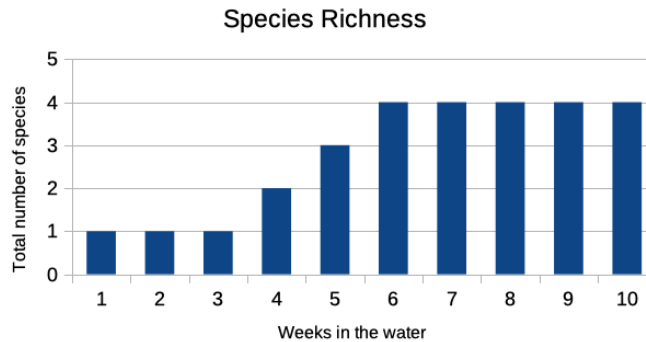


Figura 16: Patrón de la riqueza de especies en el disco con el tiempo

Esto puede atribuirse al número desproporcionadamente alto de gusanos de tubos. En términos de individuos, el disco superior está casi completamente dominado por ellos. En el disco inferior, todavía dominan por mucho, pero al menos los balanos contribuyen significativamente a la mezcla.

Sin embargo, hay que tener en cuenta que en el análisis del Índice de Simpson sólo se utilizaron las 3 especies animales. Las algas no pueden incluirse en el cálculo porque no se pudieron hacer recuentos individuales. La riqueza de especies (otro índice para la biodiversidad que considera las 4 especies) alcanzó su punto máximo después de la 6ª semana de experimento. Esto no significa que la comunidad ya haya alcanzado su etapa de clímax, pero se debe al bajo número de especies presentes en este experimento y al hecho de que las etapas juveniles de otros organismos bentónicos sólo se asentarán en los discos más adelante en el año. (Por ejemplo, en este lugar en particular los mejillones comenzarán a crecer en el verano, y para el otoño habrán superado completamente todo lo demás).

V. Otros recursos

Abdel Aleem, A. 1957. Succession of marine fouling organisms on test panels immersed in deep-Water at La Jolla, California. *Hydrobiologia*. 11:40.
<https://doi.org/10.1007/BF00021007>

BIOTIC: Biological traits Information Catalogue: *Obelia longissima*
<http://www.marlin.ac.uk/biotic/browse.php?sp=4538>

Chalmer, P.N. 1982. Settlement patterns of species in a marine fouling community and some mechanisms of succession. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 58: 73-85.

Chase, A.L., Dijkstra, J.A., Harris, L.G. 2016. The influence of substrate material on ascidian larval settlement. *J. Mar. Poll. Bull.* 106: 35-42.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.03.049>

Cifuentes, M., Krueger, I., Dumont, C.P., Lenz, M., Thiel, M. 2010. Does primary colonization or community structure determine the succession of fouling communities? *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 395: 10-20.

Gyory, J., Pineda, J., Solow, A. 2013. Turbidity triggers larval release by the intertidal barnacle *Semibalanus balanoides*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 476: 141-151.
<https://doi.org/10.3354/meps10186>. or
https://www.researchgate.net/publication/235735768_Turbidity_triggers_larval_release_by_the_intertidal_barnacle_Semibalanus_balanoides

Khalaman, V.V., Komendantov, A., Malavenda, S.S., Mikhaylova; T. 2016. Algae versus animals in early fouling communities of the white sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 553: 13-32.
<https://doi.org/10.3354/meps11767>

Thomas, D.N., Kirst; G.O. 1991. Salt tolerance of *Ectocarpus siliculosus* (Dillw.) Lyngb.: Comparison of gametophytes, sporophytes and isolates of different geographic origin. *Bot. Acta.* 104: 26-36.

Autores:

Dr. Sally Soria-Dengg y Dr. Joachim Dengg
GEOMAR Helmholtz Centre for Ocean Research Kiel
Düsternbrookerweg 20, 24105 Kiel
Alemania
E-Mail: sdengg@geomar.de

V. 05-2020

Copyright: Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0);
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>