

Estimando la Biodiversidad en el Disco VIRTUE

Pregunta importante:

¿Qué observaciones y análisis pueden llevarse a cabo con discos VIRTUE?

Una vez los discos VIRTUE han sido recogidos del agua, ¿qué se puede realizar en el aula? Una opción es hacer un *análisis cualitativo* de la biodiversidad e identificar las especies que se encuentran creciendo en los discos. Esto es adecuado para estudiantes jóvenes que pueden sentirse fascinados observando a los organismos con lentes de aumento, con estereomicroscopios si hay disponibles o con sus móviles. Si el profesorado pregunta al alumnado pueden dibujar los organismos o hacer modelos con arcilla.

Para estudiantes mayores un *análisis cuantitativo* de la biodiversidad puede llevarse a cabo calculando algunos índices básicos de diversidad comúnmente utilizados en encuestas ecológicas. Estos índices proporcionarán a los estudiantes unos números que pueden usar para hacer comparaciones objetivas de los discos.

Los índices de diversidad, sus definiciones y significados:

1. **Riqueza de especies (S)** es una medida del **número de especies** encontrado en una comunidad, en nuestro caso, en los discos. Esto se puede obtener con sólo contar cuántos organismos diferentes se pueden encontrar en los discos. Aunque es muy fácil medir la riqueza de las especies, no nos dice mucho de las abundancias y abundancias relativas de las especies en los discos.
(Como más especies haya en los discos, mayor la riqueza de especies)
2. **Índice de Diversidad de Simpson (D)** es una medida tanto de la riqueza como de la abundancia relativa de las especies en los discos. El índice de Simpson también es una medida de dominio. **(D generalmente está entre 0 y 1. Como más cerca esté de 1, mayor será la diversidad)**
3. **El índice de Shannon-Wiener (H)** es como el índice de Simpson; también mide la riqueza y abundancia de las especies. A partir del índice de Shannon-Wiener, se puede calcular la uniformidad. **(Como mayor sea H, mayor será la diversidad)**
4. **La uniformidad (E)** complementa la riqueza de las especies, ya que nos da una imagen de las abundancias relativas de las diferentes especies representadas en los discos. **(E suele estar entre 0 y 1. Como más cerca esté de 1, más especies de la muestra son comunes de forma igual; la diversidad es mayor).**
5. **El índice Jaccard (J)** se usa al comparar la composición de especies de dos muestras. No considera la abundancia de las especies, pero analiza cómo de similares son dos muestras respecto a las especies encontradas. **(Como más cerca esté J del 100%, más similares son las muestras).**

6. **El índice de Menhinick (D_{Mn})** también es una medida de la riqueza de especies, que tiene las mismas deficiencias que la riqueza de especies (S). **(Como mayor sea el D_{Mn} mayor será la riqueza de especies)**

7. **El número Efectivo de Especies (ENS)** es una verdadera medida de diversidad con el número de especies como unidad. Es el número de especies en una comunidad con igual abundancia, que da el valor observado de un índice de diversidad, D o H. Es excelente para comparar las diversidades de diferentes muestras. Corrige la no linealidad de D y H. **(Como más alto sea el ENS, más diversa será una comunidad).**

¿Qué índice y por qué?

Esto depende de las preguntas que desee responder. Los índices introducidos aquí son bastante simples y no presentarán ningún problema para estudiantes de secundaria, en adelante, calcularlos. El profesorado debe decirles a los estudiantes que no se sientan intimidados por las fórmulas porque en realidad son más simples de lo que parecen.

Riqueza de Especies: La riqueza de Especies (S) es el parámetro más fácil de medir. Es solo el número de especies encontradas. Esto, sin embargo, no dice mucho sobre la estructura de la comunidad. Lo mismo es cierto para el Índice de Menhinicks (D_{Mn}). Para los estudiantes más jóvenes, (S) puede ser la forma "cuantitativa" más fácil y rápida de analizar los discos.

Diversidad de Especies: Los índices de diversidad de Simpsons (D) y Shannon-Wiener (H) y el Número Efectivo de Especies (ENS) solo son significativos si se usan para más de una muestra. Estos se utilizan para comparar las diversidades de al menos dos muestras. D y H son ambos índices, y son solo eso, "indican" solo la diversidad y no son verdaderas diversidades en sí mismas. La verdadera diversidad sólo se puede expresar con la ENS.

D y H solo son lineales si las especies de la muestra son todas igualmente comunes. Si las especies no son igualmente comunes, no es seguro asumir que la diversidad de una muestra con una D o H de, por ejemplo, 2 es dos veces más diversa que una muestra con D o H igual a uno. En este caso, es más apropiado calcular el ENS.

Comparación de muestras: si se van a comparar muestras D, H y ENS se pueden usar y la uniformidad (E) puede decir algo sobre las abundancias relativas de las especies encontradas. El índice Jaccard (J) muestra cuán similares son las especies encontradas en dos muestras.

Índice	Fórmula	Variables	Cómo interpretar los valores obtenidos
Riqueza de Especies (S)		número total de especies encontradas	Una S alta significa que la muestra es rica en especies
Simpson (D)	$1 - \left(\frac{\sum n(n-1)}{N(N-1)} \right)$	<i>n</i> = número de individuos para una especie dada <i>N</i> = número total de individuos de todas las especies	D suele estar entre 0 y 1. Cuanto más cerca esté D de 1, mayor será la diversidad. Esto debería usarse para comparar al menos 2 muestras.
Shannon-Wiener (H)	$\sum - (P_i * \ln P_i)$	<i>P_i</i> = fracción de la población compuesta por especies <i>i</i> $P_i = \frac{n_i}{N}$ Calcular <i>P_i</i> por todas las especies	Cuanto mayor es H, mayor es la diversidad. Esto debería usarse para comparar al menos 2 muestras.
Uniformidad (E)	$\frac{H}{\ln(S)}$	H = Shannon-Wiener Index S = Riqueza de las especies	E suele estar entre 0 y 1. Cuanto más cerca esté E de 1, más especies de la muestra son igualmente comunes, es decir, las abundancias son similares.
Número efectivo de Especies (ENS)	$\frac{1}{(1-D)}$	D = Índice de diversidad de Simpson	Cuanto más alto es el ENS, más diversa es una comunidad. Esto debería usarse para comparar al menos 2 muestras.
	exp (H)	H = Índice de Shannon-Wiener	Cuanto más alto es el ENS, más diversa es una comunidad. Esto debería usarse para comparar al menos 2 muestras.
Menhinick (D_{Mn})	$\frac{S}{\sqrt{N}}$	S = riqueza de especies N = número total de individuos de todas las especies	Cuanto mayor es el D_{Mn} , mayor es la riqueza de especies

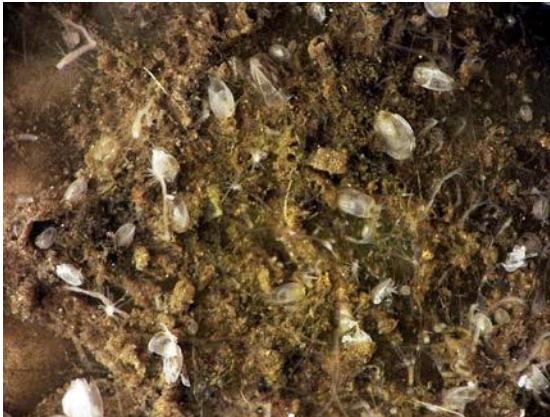
Jaccard (J)	$\left(\frac{x \cap y}{x \cup y}\right) * 100$	$x \cap y$ = número de especies compartidas entre muestras $x \cup y = N$ = número total de especies encontradas	<p>Cuanto más cerca esté J del 100%, más similares son las muestras en términos de especies encontradas.</p>
----------------------	--	---	--

Cómo calcular los índices: las fórmulas de un vistazo

Cálculos con la diversidad de un disco real

Para poder apreciar mejor la aplicación de los índices de biodiversidad, comparemos dos discos, que se han colocado en la misma ubicación pero en diferentes épocas del año.

Las fotos de los siguientes discos se utilizarán como plantilla para aprender a hacer algunas estimaciones de biodiversidad en el disco VIRTUE. La foto de la izquierda fue tomada de una parte de un disco VIRTUE que fue suspendido en el puerto interior de Baltimore (Maryland, EE. UU.) durante un período de 4 meses (marzo-junio) en 2018. La imagen de la derecha fue tomada desde la misma ubicación por un período de 7 meses (marzo-septiembre) en 2018.



Disco 1 suspendido en el puerto interior de Baltimore desde marzo hasta junio de 2018 a 1 metro de profundidad



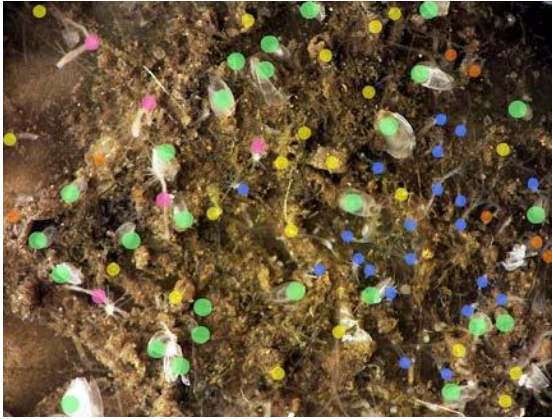
Disco 2 suspendido en el puerto interior de Baltimore desde marzo hasta septiembre de 2018 a 1 metro de profundidad

Inmediatamente se pueden observar diferencias entre las dos muestras con sólo mirar las imágenes. ¿Pero qué tan diferentes son? El cálculo de la biodiversidad puede ayudar a hacer una interpretación objetiva.

El primer paso es contar los organismos individuales para cada especie. Esto se puede realizar con un microscopio estereoscópico o una buena lente macro y una cámara (incluido con una cámara de un móvil). Si puede tomar una buena foto, puede intentar contar los organismos con un programa llamado ImageJ. Puede elegir el documento apropiado para sus propósitos desde este enlace: <https://3.basecamp.com/3696266/buckets/3048171/vaults/849731534>. O examine el disco con un microscopio estereoscópico y cuente manualmente los individuos de cada especie que pueda identificar.

En las imágenes a continuación, los individuos de cada especie han sido contados y marcados con puntos. Los puntos de colores representan la presencia de un organismo identificado en el disco. Para los propósitos de este ejemplo, utilizamos los 5 organismos más obvios para identificar. Puede encontrar otros ejemplos mientras observa la muestra. Aquí están los significados de los colores:

- Verde- mejillón de agua salobre
- Azul- briozoo (especie de viviendas tubulares)
- Rosa- hidroide
- Naranja- percebe
- Amarillo- poliquetos



Luego cree una tabla para todos sus datos.

	Disco 1	Disco 2
Organismos encontrados	Número de individuos (n)	
Mejillón de agua salobre (verde)	27	39
Briozoos (azul)	21	-
Hidroide (rosa)	5	-
Percebe (naranja)	7	28
Poliquetos (amarillo)	21	-
Número total de individuos (N)	81	67

Hay algunas estimaciones de biodiversidad que son fáciles de conocer y otras que requieren un poco más de cálculo.

La gran mayoría de las estimaciones de biodiversidad se basan en tres parámetros básicos; **el número de especies identificadas (S)**, **el número de individuos de cada especie (n)**, y **el número total de organismos en una muestra (N)**. Calcule las diferentes variables que son necesarias en las fórmulas para calcular los diferentes índices. En el siguiente ejemplo calculamos las variables para el Disco 1.

Disco					
Organismos encontrados	Número de individuos (n)	Pi n/N	log n (Pi)	Pi * log n (Pi)	n (n-1)
Mejillón de agua salobre (verde)	27	0.33	-1.10	-0.37	728
Briozoos (azul)	21	0.26	-1.35	-0.35	440
Hidroide (rosa)	5	0.06	-2.79	-0.17	24
Percebe (naranja)	7	0.09	-2.45	-0.21	48
Poliquetos (amarillo)	21	0.26	-1.35	-0.35	440
Suma (Σ)	N= 81			-1.45	1680

Ahora calcule los índices para el Disco 1 usando las Fórmulas dadas en la Tabla 1. Para hacer una demostración, hemos calculado todos los índices en esta tabla. El tutorial en la web de *Biofilms and Biodiversity* en Maryland Sea Grant puede ayudarlo con algunos de estos cálculos (podemos incluir los demás en la calculadora una vez que sea actualizada en un futuro próximo). Puede elegir índices específicos que desee usar, pero asegúrese de usar los mismos índices en todas las muestras que se comparan.

Disco 1				
Riqueza de especies (S)				5
Simpson (D)		$1 - \left(\frac{\sum n(n-1)}{N(N-1)} \right)$	$1 - \frac{1604}{81(81-1)}$	0.75
Shannon-Wiener (H)		$\sum - (Pi * \ln Pi)$	$\frac{H}{\ln(S)}$	1.45
Uniformidad (E)		$\frac{H}{\ln(S)}$	$\frac{1.45}{\ln(5)}$	0.90
Número efectivo de especies (ENS)	Simpson ENSSi	$\frac{1}{(1-D)}$	$\frac{1}{(1-0.75)}$	4.0
	Shannon-Wiener ENSSh	$\exp(H)$	$\exp(1.45)$	4.26

Menhinick (D_{Mn})	$\frac{S}{\sqrt{N}}$	$\frac{5}{\sqrt{81}}$	0.55
Jaccard (J) Disc 1 & Disc 2	$\left(\frac{x \cap y}{x \cup y}\right) * 100$	$\left(\frac{2}{5}\right) * 100$	40%

Calcule los mismos valores para el Disco 2 (o todas sus otras muestras). Los valores calculados para el Disco 1 y el Disco 2 se resumen a continuación:

Índice		Disco 1	Disco 2
Riqueza de especies (S)		5	2
Simpson (D)		0.75	0.49
Shannon-Wiener (H)		1.45	0.68
Uniformidad (E)		0.90	0.98
Número efectivo de especies (ENS)	Simpsons ENS_{Si}	4	1.96
	Shannon-Wiener ENS_{Sh}	4.26	1.97
Menhinick (D_{Mn})		0.55	0.24
Jaccard (J)		40 %	

Recuerde, las estimaciones son simplemente una "instantánea" en el tiempo. A medida que reunimos más datos mediante el muestreo durante un período de tiempo más largo, podremos identificar tendencias en los discos VIRTUE.

Análisis:

¿Qué significan los números?

Riqueza de Especies y uniformidad. Es bastante obvio que el Disco 1 tiene más especies que el Disco 2 a pesar de que el Disco 2 tuvo un tiempo de exposición más largo que el Disco 1 (3 meses para el Disco 1 y 6 meses para el Disco 2). Esto se puede ver tanto en los valores de S como en los de D_{Mn} . S da el número absoluto de especies encontradas en los discos, mientras que usando los valores de D_{Mn} se puede concluir

que el Disco 1 tiene una riqueza de especies que es más del doble que la del Disco 2. La uniformidad (**E**) de ambos discos es alta en 0.9 y 0,98, respectivamente. El valor casi igual a 1 de **E** para el Disco 2 nos dice que las 2 especies encontradas en el disco son casi igualmente comunes.

Diversidad de las Especies. Tanto el índice de Shannon-Wiener (**H**) como el de Simpson (**D**) apuntan a una comunidad más diversa en el Disco 1 en comparación con el Disco 2. Tomando el Índice de Simpson de 0.75 y 0.49 para los Discos 1 y 2, respectivamente, podemos concluir (erróneamente) que hay aproximadamente una diferencia de 35% en la diversidad entre el Disco 1 y el Disco 2. Sin embargo, mirando el ENSSi (Disco 1 = 4 y Disco 2 = 1.96), la disminución es en realidad alrededor del 50%. Por lo tanto, hay una subestimación de la disminución de la diversidad.

La diferencia en el índice de Shannon-Wiener para el Disco 1 ($H = 1.45$) y el Disco 2 ($H = 0.68$) es del 53% y la diferencia en ENSSh (Disco 1 = 4.26 y Disco 2 = 1.97) también se trata 54%. Por lo tanto, tomar el índice de Shannon-Wiener en este caso es más confiable que calcular sólo el índice de Simpson.

La fiabilidad del índice de Shannon-Wiener radica en el hecho de que **H** considera todas las especies presentes en la muestra, mientras que el índice de Simpson a veces puede ignorar especies raras o especies con números relativamente bajos.

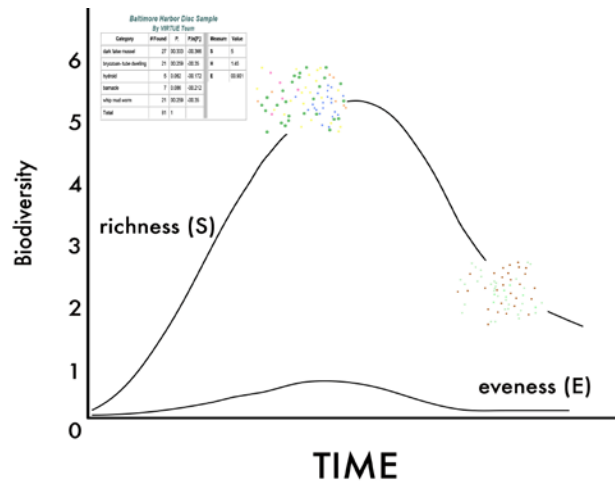
Veamos la ENS, **S** y la **E** del disco 2. La $S = 2$ y la $E = 0.98$. La **E** dice que las 2 especies son casi igualmente comunes, por lo que mirando tanto $ENS = 1.97_{sh}$ como 1.96_{si} , estas son casi 2, por lo tanto $ENS = S$. ($ENS = S$ si todas las especies son igualmente comunes). Sin embargo, todavía hay un grado de disimilitud en los valores de **ENS** and **S**, lo que significa que existe cierto grado de dominio. Como mayores sean las diferencias en **S**, ENS_{si} y ENS_{sh} , mayor será el grado de dominio. De nuestros resultados podemos decir que el grado de dominio es mayor en el Disco 1 que en el Disco 2, o que algunas especies en el Disco 1 son más dominantes que otras.

Grado de similitud. De acuerdo con el Índice Jaccard (**J**), los dos son solo moderadamente similares con respecto a la composición de especies. El grado de similitud no es muy alto.

Discusión de los resultados: el puerto de Baltimore está muy afectado por la contaminación y, con el tiempo, la diversidad de discos ha ido representado de forma regular una "Diversidad de Dominio", como lo ilustra la colonización en el Disco 2 y el dominio de los mejillones. En este caso, algunos fundamentos de la ecología (Fundamentals of Ecology, de Odum, 1953) pueden ser útiles para el análisis.

El disco 1 también puede verse como la etapa media de colonización, la etapa de transición, después de la colonización de las especies pioneras, como las bacterias y las microalgas. Durante esta etapa se esperan más especies. Durante las últimas etapas de la colonización, algunas especies se han asentado, desplazando a algunas de las otras especies, que no tuvieron éxito en la adaptación al nuevo entorno. Esto es seguido por la competencia por el espacio y persisten las especies más exitosas, en este caso los mejillones y los percebes, lo que lleva a una disminución de la riqueza de especies y, a su vez, a una menor diversidad.

Vea un ejemplo de representación a continuación. El gráfico (a continuación) muestra cómo se pueden representar los datos de biodiversidad de los discos (puntos de las estimaciones de conteo) utilizando S (riqueza de especies) y E (uniformidad). El gráfico puede ayudar a ilustrar cómo las estimaciones de biodiversidad a lo largo del tiempo se pueden usar para juzgar la salud general de un entorno.



Estos datos se pueden describir con más detalle utilizando el sitio web de Biopelículas y Biodiversidad como referencia y otros recursos web como los siguientes:

Registro mundial de especies marinas introducidas:

http://www.marineespecies.org/introduced/wiki/Medidaments_of_biodiversidad

Para cálculos en línea de biodiversidad, vaya a:

