

Propiedades de los índices de equidad según su relación con atributos comunitarios

Properties of evenness indices according to their relationship with community attributes

Daniel Barona^{1*} 

1 Universidad Científica del Sur. Lima, Perú.



Citar como: Barona, D. (2021). «Propiedades de los índices de equidad según su relación con atributos comunitarios». *South Sustainability*, 2(1), ac001. doi: <https://doi.org/10.21142/SS-0201-2021-ac001>

Artículo recibido: 23/10/2020
Revisado por pares
Artículo aceptado: 25/1/2021



© El autor, 2021. Publicado por la Universidad Científica del Sur (Lima, Perú)

*E-mail de correspondencia:
danielbarona1981@gmail.com

RESUMEN

Existen numerosos índices de equidad, para los cuales se han postulado con anterioridad varios atributos que deberían cumplirse. Uno de los principales es la independencia de la riqueza. A pesar de ello, es posible que algunas propiedades no hayan sido descritas explícitamente. Se trabajó con dos grupos de datos provenientes de muestreos de campo, consistentes en 89 muestras comunitarias correspondientes a diferentes grupos taxonómicos. Posteriormente se realizó un análisis de correlación de Spearman entre seis índices de equidad y tres atributos comunitarios (riqueza, especies raras y especies dominantes), y se halló correlación negativa entre todos los índices y todos los atributos comunitarios ($p < 0,05$). Se concluyó que los índices de equidad no son totalmente independientes de la riqueza, pero sí muestran correlación negativa con las especies raras y dominantes. Este es un atributo que todo índice de equidad debería cumplir. Estos resultados pueden ser útiles para la elección y aplicación de índices de equidad, así como en el marco del análisis de datos para la realización de estudios de impacto ambiental o biología de la conservación.

Palabras clave: diversidad, equidad, especies raras, especies dominantes, riqueza

ABSTRACT

There are numerous evenness indices, for which several attributes have previously been postulated that should be met, including richness independence. Nevertheless, some other evenness indices properties may not have been explicitly described. We evaluated two data sets from field samplings, consisting of 89 community samples corresponding to different taxonomic groups. Subsequently, a Spearman correlation analysis was conducted across six evenness indices and three community attributes (richness, rare species, and dominant species), and a negative correlation was found between all the indices and all community attributes ($p < .05$). It is therefore concluded that evenness indices are not totally independent of richness, but that they do display a negative correlation with rare and dominant species. The latter is an attribute that every evenness index should meet. These results can be helpful in the selection and application of evenness indices, as well as in data analysis for the conducting of environmental impact assessments, or in conservation biology studies.

Keywords: diversity, evenness, rare species, dominant species, richness



Introducción

Existen numerosos índices de diversidad alfa categorizados como índices de heterogeneidad, equidad y de dominancia (Peet, 1974; Moreno, 2001). Únicamente dentro de los índices de equidad existen decenas de ellos (Smith y Wilson, 1996; Payne *et al.*, 2005; Tuomisto, 2012). Existe ya una extensa literatura acerca de los atributos que deben tener dichos índices, como, por ejemplo, ser independientes de la riqueza y mostrar amplios rangos de variación en relación con el rango completo de valores teóricos (Smith y Wilson, 1996; Baczkowski *et al.*, 1997; Beisel *et al.*, 2003; Payne *et al.*, 2005), aunque podrían existir algunas otras propiedades aún no descritas en la literatura y que pueden ser de mucha utilidad al momento de usarlos o incluso de proponer nuevos índices. Es en función de esto último que establecemos atributos adicionales que deberían cumplir los índices de equidad con respecto a algunos atributos comunitarios, como la presencia de especies dominantes y especies raras. También se evalúa el rango de variación de los valores obtenidos en la práctica para cada índice, lo cual es un indicador de la sensibilidad del índice frente a los atributos comunitarios.

Algunos de esos atributos comunitarios son relativamente sencillos de definir, como la riqueza o la abundancia, pero en otros casos la cuestión se complica, como ocurre con las especies raras y las especies dominantes de una muestra comunitaria (Gaston, 1994; Magurran, 2004; Magurran y McGill, 2011). Por ejemplo, Gaston (1994) menciona que una forma de definir especies raras es a través del uso de *singletons*, y otros, como Lopez *et al.* (2012), proponen el uso de una proporción de *singletons*, es decir, los *singletons* de la muestra divididos entre la riqueza de esta. En cuanto a las especies dominantes, Gaston (1994) y Magurran y McGill (2011) proponen el uso de cuartiles. Bajo ese criterio, las especies dominantes podrían ser aquellas cuyas abundancias corresponden con los valores atípicos superiores o *outliers* de la distribución de datos de abundancia.

En el presente trabajo se evalúa el comportamiento de seis índices de equidad frente a los atributos comunitarios mencionados anteriormente, con el objetivo de establecer correlaciones y encontrar, de ese modo, algún patrón general en relación con los atributos comunitarios evaluados.

Materiales y métodos

Se utilizaron muestras comunitarias pertenecientes a dos trabajos de campo anteriores. Uno de ellos corresponde a 50 muestras comunitarias de diferentes grupos taxonómicos provenientes de un estudio de impacto ambiental detallado (EIA-d), cuyos datos son de acceso público (Petrotera Monterrico S. A., 2015). Dichas muestras comunitarias corresponden a comunidades de aves, insectos, plantas, fitoplancton y reptiles. Las

abundancias comunitarias van desde cuatro individuos hasta 249 individuos, y la riqueza comunitaria desde 2 hasta 21 especies. El segundo set de datos contiene 39 muestras comunitarias provenientes de una evaluación de aves en el Humedal Costero Poza La Arenilla, cuya información también es de acceso público (Cotillo *et al.*, 2018). En este caso, las abundancias comunitarias van desde 3 individuos hasta 1275 individuos, y la riqueza comunitaria desde 2 hasta 12 especies. En ambos casos, se omitieron para el análisis las muestras comunitarias con una o ninguna especie, y se utilizó un total de 88 muestras comunitarias.

El uso de muestras mixtas correspondientes a diferentes grupos taxonómicos posibilita tener una variedad de muestras con riquezas y abundancias variables, las cuales permiten tener a disposición un amplio abanico de los valores obtenidos para cada índice, debido a que la estructura de los ensamblajes comunitarios varía entre grupos taxonómicos (Gotelli y McCabe, 2002).

Tabla 1. Índices de equidad considerados para el análisis.

Índice	Nombre abreviado	Fórmula	Referencias
Equidad de Heip	E_{Heip}	$\frac{e^{-\sum p_i} \ln p_i - 1}{S - 1}$	Smith y Wilson, 1996
Equidad de Simpson	E_D	$\frac{1}{\sum p_i^2 / S}$	Krebs, 1989
Equidad de Buzas-Gibson	E_{BG}	$\frac{e^{-\sum p_i} \ln p_i}{S}$	Buzas y Gibson, 1969
Equidad de Hill	E_{Hill}	$\frac{1}{\frac{\sum p_i^2}{e^{-\sum p_i} \ln p_i}}$	Hill, 1973
Equidad de Pielou	J'	$\frac{-\sum p_i \ln p_i}{\ln S}$	Pielou, 1966
Equidad de Alatalo	$E_{Alatalo}$	$\frac{1}{\frac{\sum p_i^2}{e^{-\sum p_i} \ln p_i} - 1}$	Alatalo, 1981

Se calcularon seis índices de equidad basados en abundancias relativas (equidad de Heip [E_{Heip}], equidad de Simpson [ED], equidad de Buzas y Gibson [E_{BG}], equidad de Pielou [J'], equidad de Hill [E_{Hill}] y equidad de Alatalo [$E_{Alatalo}$]) para todas las muestras comunitarias en conjunto. Las fórmulas de los seis índices se muestran en la tabla 1. Posteriormente se realizó un análisis de correlación de Spearman entre los índices y algunos atributos comunitarios (riqueza [S], especies raras [PS], y especies dominantes [OS]), los cuales fueron trabajados según los siguientes criterios:

Riqueza

Se consideró el número de especies de cada una de las muestras comunitarias.

Especies raras

El criterio utilizado fue el conteo de los *singletons* de cada muestra comunitaria, es decir, las especies cuyas abundancias equivalen a la unidad. Con ello, se calculó la proporción de *singletons*, esto es, el número de *singletons* dividido entre la riqueza de la muestra comunitaria (López, 2012). A este atributo comunitario se le llamará en adelante «especies raras PS».

Especies dominantes

El criterio utilizado fue considerar como especies dominantes a aquellas especies cuyas abundancias constituyen *outliers* o valores atípicos superiores (OS), es decir, aquellas con abundancia mayor a la suma del tercer cuartil (Q3) más 1,5 veces el rango intercuartílico (RI) (Gaston, 1994; Magurran y McGill, 2011).

Análisis estadístico

Se calculó además el coeficiente de variación (CV) a partir de los valores obtenidos para cada índice, así como los valores mínimos y máximos, y las diferencias entre ellos. El CV permite evaluar la sensibilidad de los índices, ya que una mayor variación indica que los valores del índice varían fácilmente en función de la variación de las estructuras comunitarias (Beisel *et al.*, 2003). También se construyó un diagrama de cajas, el cual complementa la información obtenida a través de los coeficientes de variación, además de mostrar si la distribución de valores tiende a agruparse hacia valores bajos, medios o altos, o mostrar si existen valores atípicos para los índices.

Se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk para verificar si la distribución de cada índice cumplía el supuesto de normalidad. Para evaluar las correlaciones entre los índices y los atributos comunitarios se realizó una prueba de correlación no paramétrica de Spearman.

Todas las pruebas estadísticas se realizaron con el software PAST v.2.17c.

Resultados

El análisis de normalidad de Shapiro-Wilk mostró que la distribución de todos los índices no cumple con el supuesto de normalidad ($p < 0,05$). Todas las correlaciones entre los índices evaluados y los atributos comunitarios considerados fueron estadísticamente significativas ($p < 0,05$) y, además, todas presentaron correlaciones inversas (tabla 2). Adicionalmente, en la tabla 3 se muestran los resultados de los coeficientes de variación obtenidos para cada índice, al igual que los valores máximo y mínimo obtenidos. El coeficiente de variación funciona como un indicador de la sensibilidad de cada índice.

En cuanto a la distribución de los valores obtenidos para cada índice, el diagrama de cajas (figura 1) complementa la información brindada por los coeficientes de variación,

Tabla 2. Correlaciones de Spearman (ρ) entre los índices evaluados y los atributos comunitarios evaluados.

	S		OS		PS	
	ρ	p-valor	ρ	p-valor	ρ	p-valor
E_{Heip}	-0,45	< 0,05	-0,34	< 0,05	-0,37	< 0,05
E_D	-0,62	< 0,05	-0,41	< 0,05	-0,34	< 0,05
E_{BG}	-0,57	< 0,05	-0,38	< 0,05	-0,34	< 0,05
E_{Hill}	-0,69	< 0,05	-0,48	< 0,05	-0,33	< 0,05
J'	-0,29	< 0,05	-0,25	< 0,05	-0,37	< 0,05
$E_{Alatalo}$	-0,48	< 0,05	-0,41	< 0,05	-0,39	< 0,05

S: riqueza; OS: especies dominantes; PS: especies raras.

Tabla 3. Sensibilidad de cada índice medida a través de coeficientes de variación. Se muestran, además, los valores mínimos y máximos obtenidos a partir de las comunidades evaluadas, así como la diferencia entre estos.

	CV (%)	Mín.	Máx.	Dif.
E_{Heip}	43,1	0,06	1	0,94
E_D	45,7	0,08	1	0,92
E_{BG}	36,2	0,12	1	0,88
E_{Hill}	15,9	0,48	1	0,52
J'	25,1	0,25	1	0,75
$E_{Alatalo}$	25,2	0,29	1	0,71

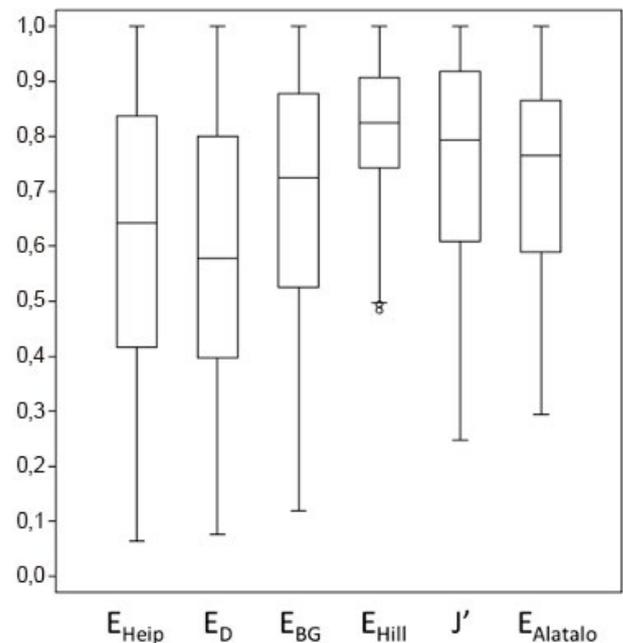


Figura 1. Diagrama de cajas de los valores obtenidos por cada índice evaluado (E_{Heip} : equidad de Heip; E_D : equidad de Simpson; E_{BG} : equidad de Buzas y Gibson; E_{Hill} : equidad de Hill; J' : equidad de Pielou; $E_{Alatalo}$: equidad de Alatalo).



y muestra asimismo la proporción de valores dentro de cada cuartil.

Discusión

Todos los índices evaluados muestran cierto grado de correlación con la riqueza, aunque algunos de ellos menos que otros (por ejemplo, el índice de Pielou). Según los criterios descritos por Smith y Wilson (1996) y Beisel *et al.* (2003), los índices de equidad idealmente deberían ser independientes de la riqueza, pero los resultados muestran que esto no es así para la mayoría de los índices. A pesar de ello, las correlaciones obtenidas no son correlaciones fuertes, lo cual puede explicarse por la relación matemática inevitable entre los índices y la riqueza: nótese que los seis índices evaluados incluyen en su formulación a la riqueza o a las sumatorias de las abundancias relativas (que finalmente dan cuenta de la riqueza, ya que para una muestra comunitaria existirán tantas abundancias relativas que se suman como número de especies hay) (Jost, 2010; Tuomisto, 2012). Resulta interesante también notar que las correlaciones obtenidas entre los índices y la riqueza son negativas, lo cual puede deberse a que mientras más especies tengan una muestra comunitaria, mayor es la probabilidad de encontrar alguna especie rara o alguna especie dominante. De todos los índices evaluados, Pielou (J') es el que muestra mayor independencia con la riqueza.

Adicionalmente, todos los índices muestran correlación negativa con los atributos comunitarios especies raras (PS) y especies dominantes (OS). Esto se debe a que una comunidad equitativa es aquella en la que existe una baja diferencia entre las abundancias de las especies más y menos comunes (Smith y Wilson, 1996; Daly *et al.*, 2018; Fedor y Zvaríková, 2018), por lo que la presencia de especies raras y/o dominantes hará disminuir el valor del índice.

Es importante mencionar, sin embargo, que probablemente la correlación negativa esperada entre los índices de equidad y las especies dominantes y raras dependerá en gran medida de cómo se defina qué es una especie rara y qué es una especie dominante, ya que existen otros criterios para hacerlo (Gaston, 1994; Magurran y McGill, 2011).

Otro aspecto importante es la variación de los valores que pueden obtenerse en relación con el rango total teórico de cada índice. Por ejemplo, algunos de ellos, particularmente E_{Hill} , J' y $E_{Alatalo}$, muestran valores que se agrupan más hacia su límite máximo (figura 1, tabla 3). Esto puede deberse a que, para obtener valores muy pequeños de equidad, usualmente se requiere poseer muestras comunitarias con muy pocas especies y con especies dominantes cuyas abundancias relativas representen un porcentaje muy alto comparado a las abundancias relativas de las demás especies, las cuales

deberían tener abundancias relativas pequeñísimas (Jost, 2010). Sin embargo, esta es una situación que no se presenta en el set de datos evaluados. Los coeficientes de variación nos muestran algo similar a lo observado en la figura 1, ya que los valores más altos de CV corresponden a aquellos índices que muestran mayores diferencias entre valores máximos y mínimos. Este coeficiente de variación, por lo tanto, vendría a ser una medida de la sensibilidad del índice. Un índice que arroje valores poco variables para muestras comunitarias muy diferentes entre sí es de baja sensibilidad y resultaría inútil como indicador de equidad.

Como conclusión, algunas de las características generales que debería mostrar un índice de equidad serían: 1) alto rango de variación en sus valores, que pueden darse en la práctica en relación con el rango de variación teórico del índice, 2) independencia de la riqueza, lo cual significa una baja correlación con la riqueza comunitaria, y 3) correlación negativa con las especies raras y dominantes. De los seis índices de equidad evaluados en la presente investigación, únicamente el índice E_{Heip} cumple con los tres criterios mencionados. Los otros cinco cumplen al menos con dos de los tres criterios. Aunque si se considera únicamente la sensibilidad de los índices, dos de los seis índices (E_{Heip} y E_D) resultan ser los de mayor sensibilidad.

Estos requisitos podrían ser útiles al momento de elegir índices de equidad para su aplicación, o incluso para el diseño de nuevas formulaciones matemáticas que permitan medir la equidad de una muestra comunitaria. Debido a que diferentes estudios de comunidades se realizan con diferente esfuerzo de muestreo, es vital que los índices de equidad utilizados sean independientes de la riqueza para poder realizar comparaciones de forma adecuada. Por otro lado, la sensibilidad de un índice de equidad resultará de gran importancia cuando se evalúen entornos sujetos a presiones antrópicas como contaminación, actividades extractivas, entre otras. Esto es particularmente importante para la realización de estudios de impacto ambiental o en el marco de la biología de la conservación.

Agradecimientos

Agradecemos al doctor José Pérez Zúñiga por la asesoría científica brindada.

Contribución de autoría

DB. Concepción y redacción del manuscrito.

Fuente de financiamiento

Autofinanciado.

Potenciales conflictos de interés

El autor declara no tener conflictos de interés.

Referencias bibliográficas

- Alatalo, R. V. (1981).** «Problems in the measurement of evenness in ecology». *Oikos*, 37(2), pp. 199-204. doi: [10.2307/3544465](https://doi.org/10.2307/3544465)
- Baczkowski, A. J., Joanes, D. N. y Shamiya, G. N. (1997).** «Properties of a generalized diversity index». *Journal of Theoretical Biology*, 188(2), pp. 207-213. doi: [10.1006/jtbi.1997.0467](https://doi.org/10.1006/jtbi.1997.0467)
- Beisel, J. N., Usseglio-Polatera, P., Bachmann, V. y Moreteau, J. C. (2003).** «A comparative analysis of evenness index sensitivity». *International Review of Hydrobiology*, 88(1), pp. 3-15. doi: [10.1002/iroh.200390004](https://doi.org/10.1002/iroh.200390004)
- Buzas, M. A. y Gibson, T. G. (1969).** «Species diversity: Benthonic foraminifera in Western North Atlantic». *Science*, 163(3862), pp. 72-75. doi: [10.1126/science.163.3862.72](https://doi.org/10.1126/science.163.3862.72)
- Cotillo, A., Podestá, J., Segura-Cobeña, E. y Cabanillas, G. (2018).** «Distribución espacial de las aves playeras limícolas para once zonas descritas en el Humedal Costero Poza de La Arenilla - La Punta, Callao». *The Biologist (Lima)*, 16(1), pp. 119-137. doi: [10.24039/rtb2018161226](https://doi.org/10.24039/rtb2018161226)
- Daly, A., Baetens, J. y De Baets, B. (2018).** «Ecological diversity: Measuring the unmeasurable». *Mathematics*, 6(7), pp. 119. doi: [10.3390/math6070119](https://doi.org/10.3390/math6070119)
- Fedor, P. y Zvaríková, M. (2018).** «Biodiversity indices. Reference module in Earth systems and environmental sciences». doi: [10.1016/b978-0-12-409548-9.10558-5](https://doi.org/10.1016/b978-0-12-409548-9.10558-5)
- Gaston, K. J. (1994).** *Rarity*. Dordrecht: Springer.
- Gotelli, N. J. y McCabe, D. J. (2002).** «Species co-occurrence: a meta-analysis of J. M. Diamond's assembly rules». *Ecology*, 83, pp. 2091-2096. doi: [10.1890/0012-9658\(2002\)083\[2091:SCOAMA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2002)083[2091:SCOAMA]2.0.CO;2)
- Hill, M. O. (1973).** «Diversity and evenness: A unifying notation and its consequences». *Ecology*, 54(2), pp. 427-432. doi: [10.2307/1934352](https://doi.org/10.2307/1934352)
- Jost, L. (2010).** «The relation between evenness and diversity». *Diversity*, 2, pp. 207-232. doi: [10.3390/d2020207](https://doi.org/10.3390/d2020207)
- Krebs, C. J. (1989).** *Ecological methodology*. New York: Harper & Row Press.
- Lopez, L. C. S., De Aguiar Fracasso, M. P., Mesquita, D. O., Palma, A. R. T. y Riul, P. (2012).** «The relationship between percentage of singletons and sampling effort: A new approach to reduce the bias of richness estimates». *Ecological Indicators*, 14(1), pp. 164-169. doi: [10.1016/j.ecolind.2011.07.012](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.07.012)
- Magurran, A. E. (2004).** *Measuring biological diversity*. Oxford: Blackwell Science.
- Magurran, A. E. y McGill, B. J. (2011).** «Biological diversity. Frontiers in measurement and assessment». New York: Oxford University Press.
- Moreno, C. E. (2001).** *Métodos para medir la biodiversidad*. Vol. 1. Zaragoza: M&T-Manuales y Tesis SEA.
- Payne, L. X., Schindler, D. E., Parrish, J. K. y Temple, S. A. (2005).** «Quantifying spatial pattern with evenness indices». *Ecological Applications*, 15(2), pp. 507-520. doi: [10.1890/03-5029](https://doi.org/10.1890/03-5029)
- Peet, R. K. (1974).** «The measurement of species diversity». *Annual Review of Ecology and Systematics*, 5(1), pp. 285-307.
- Petrolera Monterrico S. A. (2015).** «Estudio de impacto ambiental detallado (EIA-d). Proyecto de perforación de 115 pozos de desarrollo adicionales en los Lotes II-XV. Escrito N.º 2473992. 2015». Disponible en: <http://www.minem.gob.pe/descripcion.php?idSector=22&idTitular=8902>
- Pielou, E. C. (1966).** «Shannon's formula as a measure of specific diversity: Its use and misuse». *The American Naturalist*, 100(914), pp. 463-465.
- Smith, B. y Wilson, J. B. (1996).** «A consumer's guide to evenness indices». *Oikos*, 76(1), pp. 70-82. doi: [10.2307/3545749](https://doi.org/10.2307/3545749)
- Tuomisto, H. (2012).** «An updated consumer's guide to evenness and related indices». *Oikos*, 121, pp. 1203-1218. doi: [10.1111/j.1600-0706.2011.19897.x](https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2011.19897.x)

