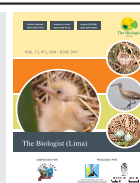


The Biologist (Lima), 2017, 15(1), jan-jun: 9-14.



The Biologist (Lima)



ORIGINAL ARTICLE / ARTÍCULO ORIGINAL

BETA DIVERSITY IN THE COASTAL WETLANDS OF LIMA, PERU: ESTIMATION USING PRESENCE/ABSENCE INDICES AND ITS IMPLICATIONS TO CONSERVATION

DIVERSIDAD BETA EN LOS HUMEDALES COSTEROS DE LIMA, PERÚ: ESTIMACIÓN CON ÍNDICES DE PRESENCIA/AUSENCIA Y SUS IMPLICANCIAS EN CONSERVACIÓN

Héctor Aponte^{1,2}

¹*Facultad de Ciencias Biológicas y Veterinarias. Escuela de Biología Marina. Universidad Científica del Sur. Av. Antigua Carretera Panamericana Sur km 19 Villa El Salvador. - Lima 42, Perú. haponteu@yahoo.fr*

²*Museo de Historia Natural, Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Avenida Arenales 1256, Jesús María - Lima. Apartado 14-0434, Lima 14, Perú.*

ABSTRACT

The wetlands of the Peruvian coast form a very important corridor of diversity in the South American desert. Studying the beta diversity at the regional level is essential to properly measure its diversity and preserve this ecosystem. This paper seeks to estimate beta diversity at the regional level using the presence / absence of vascular plants and birds. This study also seeks to know the local beta diversity using data from previous studies in four wetlands of this region. In all cases, Wittaker beta index (β_w) and Cody beta index (β_c) were calculated. Within each locality, the average Simpson index (1-D) and Shannon Wiener index (H) were also calculated, so as to compare two alpha and beta estimators. The correlation between β_w , β_c , richness, 1-D and H was estimated by Pearson tests. All calculations were performed using the software PAST 2.14c. Beta diversity at regional scale for birds ($\beta_w = 0.37$; $\beta_c = 64.5$) is lower than that of the plants ($\beta_w = 1.52$; $\beta_c = 99.5$), inversely to richness values (birds = 149, plants = 122 species). Local beta diversity was higher than the regional diversity (Santa Rosa $\beta_w = 4.75$ y $\beta_c = 63$; Medio Mundo $\beta_w = 5.56$ y $\beta_c = 37$; Paraíso $\beta_w = 4.29$ y $\beta_c = 45.5$; Puerto Viejo $\beta_w = 4.76$ y $\beta_c = 5$); locally, W was directly proportional to richness; 1-D was directly proportional to H. These results are the first estimates of regional beta diversity through beta indices. β_c represents better the local richness than alpha indices, making it a very good estimator of local and regional richness. The implications of these results in decision making for the conservation of diversity in these wetlands are discussed.

Keywords: beta diversity – birdlife – vascular plants – wetlands

RESUMEN

Los humedales de la costa peruana forman un corredor de diversidad muy importante en el desierto sudamericano. Estudiar la diversidad beta a escala regional es fundamental para conocer la envergadura de su diversidad y conservarlos adecuadamente. El presente trabajo busca estimar la diversidad beta a escala regional utilizando la presencia/ausencia de plantas vasculares y aves publicados previamente para cinco humedales. Este estudio busca también conocer la diversidad beta local utilizando datos de transectos realizados en estudios previos en cuatro humedales de esta región. En todos los casos se calculó los índices beta de Wittaker (β_w) y de Cody (β_c). Al interior de cada humedal se calcularon también el promedio del índice de Simpson (1-D) y de Shannon Wiener (H), de esta manera se compararon los índices beta con dos estimadores alfa. Se estimó la correlación entre β_w , β_c , la riqueza, 1-D y H mediante una prueba de Pearson. Todos los cálculos fueron realizados en el software PAST 2.14c. Los resultados muestran que la diversidad beta regional a nivel de las aves ($\beta_w=0,37$; $\beta_c=64,5$) es menor que el de las plantas ($\beta_w=1,52$; $\beta_c=99,5$), valores inversos a la riqueza (Aves=149 especies; Plantas=122 especies). La diversidad beta local fue mayor que la diversidad regional (Santa Rosa $\beta_w=4,75$ y $\beta_c=63$; Medio Mundo $\beta_w=5,56$ y $\beta_c=37$; Paraíso $\beta_w=4,29$ y $\beta_c=45,5$; Puerto Viejo $\beta_w=4,76$ y $\beta_c=5$); localmente, β_w fue directamente proporcional a la riqueza; 1-D fue directamente proporcional a H. Estas cifras son las primeras estimaciones de la diversidad beta regional por medio de estos índices. Se aprecia que β_c representa mejor la riqueza local que los índices alfa, lo que lo convierte en un muy buen estimador de la riqueza local y regional. Se discuten las implicancias de estos resultados en la toma de decisiones para la conservación de la diversidad en estos humedales.

Palabras clave: Diversidad beta – humedales – ornitofauna – plantas vasculares

INTRODUCCIÓN

Los humedales costeros de Lima son un refugio para la diversidad Biológica en el desierto costero sudamericano. Estudios realizados sobre la flora de esta región reportan más de 120 especies de plantas vasculares (Aponte & Cano, 2013). Las aves son también un grupo importante y diverso en esta región con más de 140 especies reportadas (Tello & Engblom, 2010). A estos grupos podemos adicionar los mamíferos (Pacheco *et al.*, 2015), reptiles (Icochea, 1998), arañas (Paredes, 2010), insectos (Alarcón & Iannacone, 2014) y protozoarios (Guillén *et al.*, 2003) que también forman parte importante de estos ecosistemas. Estos datos nos indican que estos ambientes, junto con las lomas costeras (donde también encontramos centenares de especies, Dillon *et al.*, 2011) son un refugio importante para la flora y fauna de esta región.

Una forma de evaluar la diversidad, que se ha utilizado en estos ecosistemas (por ejemplo en Aponte & Ramírez, 2011; en Paredes, 2010 y en Iannacone *et al.*, 2010), consiste en calcular índices de diversidad. Los índices de diversidad nos

permiten tener una medida de la diversidad biológica presente en un ecosistema determinado. Los índices utilizados con mayor frecuencia son los índices de tipo alfa, índices que buscan medir la diversidad local principalmente en función de la riqueza y la homogeneidad en que las especies se encuentran en la unidad muestral (Smith & Smith, 2001). Estos índices, por su naturaleza, están diseñados para medir la diversidad de una unidad muestral evaluada (midiendo la entropía o la dominancia en la unidad, Jost, 2006). De esta manera, estos índices proveen de una estimación de la diversidad de la unidad muestral (un transecto o parcela, por ejemplo) no de una localidad o mucho menos a nivel regional. Para lograr una estimación apropiada de la diversidad de toda una localidad (por ejemplo, un bosque, un desierto, un manglar o un humedal), es necesario integrar la información proveniente de múltiples unidades muestrales dentro de una misma localidad, logrando de esta manera comprender la distribución de la diversidad en el espacio, cosa que se logra aplicando algoritmos como los que se utiliza para calcular la diversidad beta (Socolar *et al.*, 2016).

La aproximación beta de la diversidad, busca estimar el recambio de especies en una gradiente; a

mayor recambio de especies, mayor diversidad en el espacio evaluado (el cual puede ser una localidad, o inclusive una región). Algunos índices de diversidad beta buscan medir este recambio, utilizando datos de presencia y ausencia de especies, lo que disminuye el tiempo de muestreo en campo (en comparación con otras técnicas cuantitativas). Los estimadores beta nos presentan una valoración de mayor escala que la alfa, siendo los más apropiados para caracterizar una localidad o una región (Koleff *et al.*, 2003). Hasta la fecha no se han utilizado estos índices para conocer valores de diversidad beta a nivel local o regional en los humedales costeros de Lima; habiéndose sugerido que la diversidad beta es alta dada la poca similitud de la flora entre localidades (Aponte & Cano, 2013).

El presente estudio busca proveer de las primeras estimaciones de diversidad beta para las plantas vasculares y aves presentes en algunos humedales costeros de Lima a partir de algoritmos de presencia y ausencia. A partir de los datos obtenidos se analizarán las implicancias de estas estimaciones para la gestión y conservación de los humedales en esta región.

MATERIALES Y MÉTODOS

a) Datos utilizados

Para hallar la diversidad beta regional en plantas vasculares se utilizaron los datos históricos de la riqueza de especies de plantas vasculares de seis humedales de la costa de Lima: Humedal de Puerto Viejo (PV), Pantanos de Villa (PAN), Humedales de Ventanilla (VEN), Humedal de Santa Rosa (SR), Laguna El Paraíso (LPAR) y Albufera de Medio Mundo (MM). Estos datos provienen de estudios realizados en las localidades mencionadas (Aponte & Cano, 2013). Se halló también la diversidad beta regional en las aves utilizando el listado de aves presentes en 5 humedales de la costa de Lima (PV, PAN, SR, LPAR y MM) provenientes de registros previos (Tello & Engblom, 2010).

Para hallar la diversidad beta en las plantas vasculares dentro de cada localidad se utilizaron datos provenientes de 120 transectos muestreados en cuatro humedales de la costa de Lima (PV, SR,

LPAR y MM) provenientes de estudios previos (Aponte & Ramírez, 2011).

b) Estimación de la diversidad beta y comparación con índices alfa

En todos los casos se halló los índices de Wittaker (β_w) y de Cody (β_c), dos de los índices beta más utilizados, y que tienen formas distintas de medir la diversidad beta (Koleff *et al.*, 2003). β_w utiliza los datos de la Riqueza de especies (S) y los divide entre el número de especies promedio por parcela (α), de manera que si esta proporción es igual a 1 (es decir, que las mismas especies se repiten en todas las unidades muestrales), la diversidad beta es cero. La ecuación utilizada fue la siguiente:

$$\beta_w = \frac{S}{\alpha} - 1 \quad \dots(1)$$

β_c utiliza la ganancia (g) y pérdida (p) de especies a lo largo de la gradiente. Mientras más especies se ganen o se pierdan a lo largo del muestreo (mayor recambio) mayor será el valor de este índice de diversidad. La ecuación utilizada fue la siguiente:

$$\beta_c = \frac{g+p}{2} \quad \dots(2)$$

Con la finalidad de evaluar la correlación de estos índices con estimaciones de diversidad alfa, se anotó la riqueza de especies por localidad, la riqueza de especies en los transectos evaluados, y se calculó el índice de diversidad de Shannon Wiener (H) y de Simpson (1-D) en los cuatro humedales de las cuales se poseía la información de abundancia por transectos. Las ecuaciones utilizadas fueron las siguientes:

$$H = - \sum_i^n pi \cdot \ln(pi) \quad \dots(3)$$

$$1-D = 1 - \sum_i^n \ln pi^2 \quad \dots(4)$$

Donde pi es la proporción entre individuos de la especie i y el número de individuos totales.

Se halló la correlación entre la riqueza, el promedio de los índices alfa y beta de cada localidad utilizando una prueba de correlación de Pearson considerando correlación cuando el valor p fue

menor de 0,05. Todos los análisis fueron realizados en el software PAST 2.17c (Hammer *et al.*, 2001).

DISCUSIÓN

RESULTADOS

Los resultados de todos los análisis se muestran en la Tabla 1. La diversidad beta regional a nivel de las plantas es mayor a la de las aves. La diversidad beta regional es inversa a la riqueza regional (la cual es mayor en aves). Si comparamos la diversidad beta regional con la local, podemos apreciar que esta última fue mayor. El análisis de correlación nos indica que β_c fue directamente proporcional a la riqueza y 1-D fue directamente proporcional a H ($p < 0,05$ para el índice de Pearson en ambos casos, $p > 0,05$ para las otras variables).

Los resultados nos muestran que el recambio de especies en el caso de las plantas es mayor al de las aves. El hecho de que el 30% de aves listadas sean de tipo migratorio (Tello & Engblom, 2010), indica que pueden ocupar múltiples localidades costeras, lo que podría explicar por qué el recambio de especies es menor en este grupo. Por otro lado, esto sugiere que este desplazamiento entre localidades en el caso de las plantas es menos frecuente, pero no necesariamente inexistente (inclusive se ha sugerido en otros estudios que las especies vegetales pueden moverse entre localidades y ecosistemas; Aponte, 2016).

La variabilidad ecosistema que se genera al interior de cada localidad genera una variabilidad de

Tabla 1. Estimadores de Diversidad beta (índices de Whittaker y Cody), riqueza (R) y diversidad alfa (promedios \pm coeficiente de variación (mínimo – máximo) de 1-D y H) para los datos evaluados en el presente estudio. β_c =Índice de Cody; β_w =Índice de Wittaker; 1-D=Índice de Simpson; H=Índice de Shanon Wiener. PV = Humedal de Puerto Viejo. SR = Humedal de Santa Rosa. LPAR = Laguna El Paraíso. MM= Albufera de Medio Mundo.

	Beta		R	1-D	H
	β_w	β_c			
Regional Plantas	1,52	99,5	122	-	-
Regional Aves	0,37	64,5	149	-	-
PV	4,76	45	15	0,32 \pm 64,63(0-0,64)	0,54 \pm 64,06(0-1,19)
SR	4,75	63	23	0,37 \pm 63,57(0-0,74)	0,72 \pm 64,02(0-1,45)
LPAR	4,29	45,5	15	0,48 \pm 72,33(0-0,92)	1,05 \pm 86,65(0-2,79)
MM	5,56	37	14	0,30 \pm 66,84(0-0,63)	0,48 \pm 66,28(0-1,05)

Tabla 2. Correlación entre los estimadores de diversidad Beta y alfa locales. La diagonal inferior izquierda contiene los valores del índice de Pearson. La diagonal superior derecha (sombreado) contiene los p valores. β_c =Índice de Cody; β_w =Índice de Wittaker; 1-D=Índice de Simpson; H=Índice de Shanon Wiener.

	β_w	β_c	Riqueza	1-D	H
β_w		0,56	0,78	0,16	0,16
β_c	-0,44		0,03	0,76	0,72
Riqueza	-0,22	0,97		0,91	0,88
1-D	-0,84	0,24	0,09		0,00
H	-0,84	0,28	0,12	1,00	

especies mayor que la variabilidad de especies entre localidades. Esta observación se encuentra reflejada en el hecho de que la diversidad beta regional sea menor que la local. Las gradientes que se forman en los humedales permiten generar sucesiones de especies que, como consecuencia, generan una variabilidad de ecosistemas localmente (juncales, gramadales, totorales y vegas). Estas comunidades tienen una composición similar en los diferentes humedales, por lo que la variabilidad es menor entre localidades que al interior de las mismas. Ello no significa que las comunidades de cada localidad están compuestas exactamente por las mismas especies; si bien las comunidades son similares en forma, su composición es particular a cada humedal (Aponte & Ramírez, 2011).

Siendo que las plantas se encuentran en la base de las redes tróficas, los resultados obtenidos nos sugieren que la diversidad beta local puede ser alta también a nivel de taxones que se alimentan de las plantas (invertebrados y vertebrados herbívoros): a mayor recambio de especies en la base de la red trófica, se esperaría tener mayor diversidad beta en los niveles mayores. Este patrón ha sido observado en otros humedales, donde el aumento de la diversidad beta vegetal determina la presencia de una variedad de espacios para anidamiento y alimentación, produciendo mayor diversidad en grupos como las aves (Zmihorski *et al.*, 2016). Son necesarios estudios cuantitativos de los otros taxones para poder aceptar o rechazar esta hipótesis.

El análisis de correlación nos indica que β_c es un muy buen indicador de la riqueza local. Si bien este índice no nos dice el número exacto de especies, este crece en los humedales con mayor riqueza convirtiéndolo en el mejor estimador de la riqueza (para los índices evaluados). En el caso de los humedales donde se contó con datos de transectos, el humedal Santa Rosa es el que presenta mayor diversidad beta vegetal, dato compatible con la riqueza vegetal reportada para este ecosistema (Aponte & Cano, 2013). Estos resultados sugieren que β_c es un índice que no debería dejar de cuantificarse en las evaluaciones de impacto ambiental o de monitoreo de la diversidad vegetal en estos ecosistemas.

El presente trabajo resalta a las plantas como un taxón importante a evaluar para conocer la diversidad que estos ecosistemas y de los índices beta como estimadores de la riqueza específica local. Hasta la fecha las evaluaciones de la diversidad beta en esta región habían utilizado índices de similitud, por lo que las cifras mostradas en este trabajo, son las primeras estimaciones de la diversidad beta en la costa de Lima con estos índices.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Mariana Barros por su apoyo en el procesamiento de datos y a los revisores de la presente revista por sus sugerencias al manuscrito.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alarcón, G. & Iannacone, J. 2014. Artrópoda terrestre asociada a formaciones vegetales en el Refugio de Vida Silvestre Pantanos De Villa, Lima, Perú. *The Biologist (Lima)*, 2014, 12: 253-274.
- Aponte, H. 2016. Nuevo registro de flora para las Lomas de Lachay: Primer reporte de *Lemna minuta* Kunth (Araceae). *Ecología Aplicada*, 15: 57-60.
- Aponte, H. & Cano, A. 2013. Estudio florístico comparativo de seis humedales de la costa central del Perú: Actualización y nuevos retos para su conservación. *Revista Latinoamericana de Conservación*, 3: 15-27.
- Aponte, H. & Ramírez, W. 2011. Los Humedales de La Costa central del Perú: Comunidades Vegetales y Conservación. *Ecología Aplicada*, 10: 31-39.
- Dillon, M.O.; Leiva, G.S.; Zapata, C.M.; Lezama, A.P. & Quipuscoa, S.V. 2011. Floristic checklist of the Peruvian Lomas formations. *Arnaldia*, 18: 7-32.
- Guillén, G.; Morales E. & Severino R. 2003. Adiciones a la fauna de protozoarios de los Pantanos de Villa, Lima, Perú. *Revista Peruana de Biología*, 10: 175-182.
- Hammer, Ø.; Harper, D.A.T. & Ryan P.D. 2001. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontología Electrónica*, 4: 9.
- Iannacone, J.; Atasi, M.; Bocanegra, T.; Camacho, M.; Montes, A.; Santos, S.; Zuñiga, H. & Alayo, M. 2010. Diversidad de aves en el humedal Pantanos de Villa, Lima, Perú: periodo 2004-2007. *Biota Neotropica*, 10: 295-304.
- Icochea, J. 1998. *Lista Roja preliminar de los anfibios y reptiles amenazados del departamento de Lima*. En: *Los Pantanos de Villa: Biología y Conservación*, pp. 217-219. 11. Lima, Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Jost, L. 2006. Entropy and Diversity. *Oikos*, 113: 363-375.
- Koleff, P.; Gaston, K.J. & Lennon, J.J. 2003. Measuring Beta Diversity for Presence-absence Data. *Journal of Animal Ecology*, 72: 367-382.
- Pacheco, V.; Zevallos, A.; Cervantes, K.; Pacheco, J. & Salvador, J. 2015. Mamíferos del Refugio de Vida Silvestre Los pantanos de Villa, Lima, Perú. *Científica*, 12: 26-41.
- Paredes, W. 2010. *Diversidad y variación espacio-temporal de las comunidades de arañas en la Zona Reservada de Pantanos de Villa, Lima, Perú*. Tesis para optar por el grado de bachiller en Ciencias Biológicas, Lima - Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Smith, R.L. & Smith, T. 2001. *Ecología*. 4ª ed. Madrid, España: Pearson Education.
- Socolar, J. B.; Gilroy, J.J.; Kunin, W.E. & Edwards, D.P. 2016. How Should Beta-Diversity Inform Biodiversity Conservation? *Trends in Ecology & Evolution*, 31: 67-80.
- Tello, A. & Engblom, G. 2010. *Lista de especies de los humedales de la Región Lima: Aves*. En *Humedales de la Región Lima, Guía de su fauna y flora silvestres*, editado por Alejandro Tello y Luis Castillo, 87-90. Lima - Perú: Gobierno Regional de Lima.
- Žmihorski, M.; Pärt T.; Gustafson, T. & Berg, Å. 2016. Effects of water level and grassland management on Alpha and Beta diversity of birds in restored wetlands. *Journal of Applied Ecology*, 53: 587-595.

Received September 5, 2016.

Accepted January 21, 2017.