

Nota

Evaluación de la folivoría: una comparación de dos métodos

Evaluation of folivory: a comparison of two approaches

Karina Rodriguez-Auad^{1*} & Javier A. Simonetti²

¹ Instituto de Ecología, Universidad Mayor de San Andrés. Casilla 10077, La Paz, Bolivia

² Facultad de Ciencias, Universidad de Chile. Casilla 653, Santiago, Chile

*autor de correspondencia

La herbivoría es una interacción planta-animal con profundas implicancias para las plantas, tanto a nivel individual, poblacional como comunitario (Crawley 1997). Un aspecto elemental para el estudio de las consecuencias de la herbivoría sobre la vegetación es establecer los patrones de consumo foliar en diferentes especies o en los distintos estados de vida de una especie de planta (e.g., Filip et al. 1994). La magnitud de la herbivoría puede ser estimada en forma estática, donde la medición del área foliar removida se realiza para un instante de tiempo, o bien mediante evaluaciones a largo plazo, en las que se mide la variación de la magnitud de la herbivoría de las mismas hojas a través del tiempo (e.g., De la Cruz & Dirzo 1987, Filip et al. 1994).

En ambos tipos de evaluaciones, la cuantificación del área foliar removida por los herbívoros puede realizarse tanto mediante aproximaciones discretas como continuas. En las aproximaciones discretas, la folivoría se determina como el porcentaje del área foliar afectada usando categorías de daño (Domínguez & Dirzo 1995): 0 = hojas sin herbivoría; 1 = 1 - 5%; 2 = 6 - 12%; 3 = 13 - 25%; 4 = 26 - 50% y 5 = 51 - 100%. Cada hoja es asignada a alguna de estas categorías, y el conjunto de hojas por individuo o por población se utiliza para definir un Índice de Herbivoría (IH) como:

$$(1) \quad IH = \sum_{i=0}^5 X_i \eta_i / N$$

donde X_i es la categoría de daño, η_i es el número de hojas que presenta una de las categorías de daño y N es el número total de hojas estudiadas (e.g., Dirzo et al. 1989, Benítez-Malvido et al. 1999).

La evaluación de la folivoría también puede realizarse en forma continua, cuantificando el porcentaje (al mm² más cercano) del área foliar removida (e.g., De la Cruz & Dirzo 1987, Filip et al. 1994). La primera aproximación se realiza asignando visualmente cada hoja a una categoría de daño. Ello demanda que el observador esté debidamente entrenado para asignar una hoja a una determinada categoría de daño, en tanto que en la segunda aproximación se mide la superficie foliar con medidores de áreas, planímetro u otros medios lectores de imágenes, por lo cual ambas podrían diferir en su precisión y con ello, sesgar las evaluaciones de folivoría, impidiendo eventualmente la comparación entre ambos tipos de estimaciones.

En Bolivia, un creciente número de trabajos evalúa la magnitud de la folivoría en árboles tropicales. Algunos emplean evaluaciones discretas por categorías (e.g., Roldán 1997, Larrea 1999a, Rodríguez-Auad 2000) mientras otros lo hacen con evaluaciones continuas (e.g., Willems & van de Plassche 1996, Larrea 1999b). En ocasiones, la magnitud de la herbivoría en una misma

especie ha sido evaluada mediante dos métodos diferentes (e.g., Larrea 1999 a,b). Por ello, es necesario comparar la evaluación de la folivoría por ambas aproximaciones sobre una misma especie en un mismo lugar, para determinar si ambas, discretas y continuas, evalúan de forma similar la folivoría.

En esta nota comparamos las estimaciones realizadas por un método discreto (Índice de Herbivoría, IH) con una estimación continua del área foliar perdida en tres especies arbóreas, *Pseudolmedia laevis* (Moraceae), *Nectandra longifolia* (Lauraceae) y *Ampelocera ruizii* (Ulmaceae) para determinar si dichas estimaciones coinciden entre ambos métodos.

Durante diciembre de 1999 (época de lluvias), colectamos al azar 100 hojas en 50 árboles adultos de *P. laevis* y *N. longifolia*, y en 47 árboles de *A. ruizii* en un sector de bosque continuo (Campo Monos) de la Reserva de la Biosfera Estación Biológica del Beni- Bolivia (14°30' - 14°50' S; 66°00' - 64°00' O). Para la estimación discreta de la folivoría, cada hoja fue asignada a una de las siguientes categorías de pérdida de superficie foliar: 0 = 0%; 1 = 1 - 5%; 2 = 6 - 12%; 3 = 13 - 25%; 4 = 26 - 50% y 5 = 51 - 100% (Domínguez & Dirzo 1995). Para la estimación continua del daño foliar, primero estimamos la relación entre el largo y ancho de hojas sin daño con su área foliar. La ecuación de regresión de dichas relaciones permite inferir el área que habría tenido una hoja comida, dado su ancho o largo. El área de las hojas intactas fue evaluada mediante el programa SigmaScan/Image, el cual arroja

valores en mm² de cada hoja. Estos valores fueron correlacionados con sus largos y anchos máximos. Obtenida la superficie foliar predicha por la regresión, estimamos el porcentaje del área foliar perdida como:

$$(2) \% \text{ Area perdida} = [\text{Area predicha} - \text{Area observada}] / \text{Area predicha} * 100$$

Con el objeto de comparar las estimaciones de folivoría, calculamos el IH empleando los valores obtenidos por la asignación visual a las categorías de daño (IH discreto) así como el IH basado en asignar a las mismas categorías los valores obtenidos mediante las ecuaciones de regresión (en adelante IH continuo). Si el método discreto es igualmente preciso que el continuo, entonces los IH estimados por ambas aproximaciones no deberían diferir significativamente. Además, la magnitud de la folivoría por árbol estimada como el porcentaje promedio de superficie foliar perdida, debería correlacionarse positivamente con el IH (discreto). Para realizar las comparaciones, eliminamos las hojas sin daño. Ello aumenta el número de casos (hojas) a asignar a alguna categoría de daño y, con ello, fuerza la probabilidad de errar en las estimaciones, evitando el riesgo de tener estimaciones de folivoría similares dado un alto número de hojas sin daño, las cuales son inequívocamente asignadas a la categoría de 0% de daño, con cualquier método.

En total, asignamos 14.590 hojas de los árboles adultos de cada una de las tres especies

Tabla 1: Ecuaciones de regresión lineal de área foliar (mm²) vs su largo o ancho (mm), para las tres especies estudiadas.

		r ²	intercepto	pendiente	ee	P	n
<i>P. laevis</i>	ancho	0.8	-39.2	15.6	1.2	<< 0.001	39
	largo	0.6	-32.9	5.1	0.8	<< 0.001	26
<i>A. ruizii</i>	ancho	0.9	-35.4	13.7	0.8	<< 0.001	46
	largo	0.6	-19.6	4.5	0.7	<< 0.001	29
<i>N. longifolia</i>	ancho	0.5	-17.1	7.7	1.0	<< 0.001	48
	largo	0.7	-23.9	3.1	0.3	<< 0.001	31

a las seis categorías de daño del IH (Rodríguez-Auad 2000). De éstas, escogimos al azar una muestra de 518 hojas para realizar las comparaciones entre ambos métodos. De ellas, 232 (44,8%) no tenían daño. A una muestra aleatoria de estas hojas sin daño le calculamos el área, el largo y ancho de cada hoja. Todas las regresiones son estadísticamente significativas (Tabla 1).

Las ecuaciones de regresión permiten calcular el área perdida en hojas con alguna cantidad de superficie foliar removida. Ello lo hicimos con 219 de las 286 que tienen $\geq 1\%$ de superficie consumida. Cada una de estas 219 hojas fueron asignadas a las categorías discretas de daño del índice IH y estimamos el IH (discreto) para cada especie (Tabla 2). Además, para las mismas hojas calculamos el porcentaje

de área perdida (según ecuación (2)), asignamos cada hoja a las categorías de daño y estimamos un nuevo IH (continuo) (Tabla 2).

El porcentaje promedio del área foliar perdida estimada en forma continua es de $26.4\% \pm 0.2$ (media \pm error estándar) en *P. laevis*, lo que corresponde a la categoría 4 de daño según el IH (discreto); en *A. ruizii*, el porcentaje equivale a la categoría 3 ($19.3\% \pm 0.2$) y en *N. longifolia* corresponde a la categoría 4, con $29.3\% \pm 0.2$.

A nivel de cada hoja, la estimación visual y mediante SigmaScan/Image de la magnitud del área perdida coincide entre 60 a 80% de los casos (Tabla 3). Esto determina que la magnitud de la folivoría no difiera significativamente entre las estimaciones de IH (discreto) e IH (continuo) (Tabla 2). Finalmente, el porcentaje del área perdida se correlaciona positivamente

Tabla 2: Índice de Herbivoría discreto (IH discreto) y continuo (IH continuo) para las tres especies estudiadas. Se indica la media y su error estándar, el valor de Z asociado a la prueba de Mann-Whitney y la probabilidad (P) a la cual las medias difieren.

		IH discreto	IH continuo	Z	P
<i>P. laevis</i>	n	3.3 \pm 0.1 65	3.1 \pm 0.1 65	0.46	0.6
<i>A. ruizii</i>	n	2.6 \pm 0.1 74	2.7 \pm 0.1 74	0.48	0.6
<i>N. longifolia</i>	n	3.3 \pm 0.1 79	3.2 \pm 0.1 79	0.56	0.6

Tabla 3: Coincidencia en la asignación individual de hojas a categorías de daño. Se indica el número de casos coincidentes (n) respecto del total de la muestra analizada (N) y el porcentaje de coincidencias.

	<i>Pseudolmedia laevis</i>	<i>Ampelocera ruizii</i>	<i>Nectandra longifolia</i>
n	53	47	49
N	65	74	79
%	81.5	73.0	62.0

Tabla 4: Correlaciones entre el porcentaje de área perdida estimada y la categoría discreta para las tres especies. Se indica el valor del coeficiente de correlación de Spearman (r_s), el tamaño de la muestra y la probabilidad asociada al r_s .

	r_s	N	P
<i>P. laevis</i>	0.8	65	<< 0.001
<i>A. ruizii</i>	0.6	74	<< 0.001
<i>N. longifolia</i>	0.5	79	<< 0.001

con las categorías discreta a las que previamente se habían asignado estas hojas, para las tres especies en el bosque (Tabla 4).

La asignación de las hojas a categorías discretas de área removida mediante la inspección visual (e.g., Domínguez & Dirzo 1995) podría estar sujeta a imprecisiones o errores en la estimación de la folivoría comparado con estimaciones basadas en lecturas de imágenes (e.g., De la Cruz & Dirzo 1987, Filip et al. 1994). Si bien existen asignaciones erróneas (Tabla 3), ambas estimaciones evalúan la magnitud de la folivoría en forma similar. Esto permite comparar legítimamente estimaciones de herbivoría basadas en estos dos métodos diferentes, tales como la evaluación discreta y continua de la herbivoría en las plántulas de *Swietenia macrophylla* (Larrea 1999 a,b).

La evaluación del área foliar perdida mediante lectores de imágenes podría preferirse por ser más precisos, pero la asignación visual a categorías discretas permite procesar un gran volumen de hojas en el campo, de una manera no destructiva, pues no es necesario extraer las hojas de la planta, especialmente cuando no se dispone de lectores portátiles que permitan realizar estas evaluaciones en el campo y con rapidez. Esto puede ser especialmente relevante cuando se pretende evaluar herbivoría en plántulas, las cuales tienen pocas hojas, cuya remoción podría causarles la muerte (e.g., De la Cruz & Dirzo 1987, Benítez- Malvido 1999, Rodríguez-Auad 2000).

Las estimaciones en un momento del tiempo (estáticas), como las realizadas en este estudio, tienden a subestimar la magnitud de la folivoría

ente 2 y 5 veces comparadas con estimaciones de largo plazo sobre hojas marcadas, por cuanto las estimaciones estáticas no pueden detectar las hojas que son totalmente consumidas (Lowman 1984, Filip et al. 1994). La temporalidad de la estimación (estática vs. largo plazo), debe considerarse al momento de comparar la magnitud de la herbivoría independiente de la aproximación utilizada, por cuanto ambas (discreta o continua) serían comparables.

Agradecimientos

Este trabajo forma parte de la Tesis de Licenciatura en Biología de KRA, la cual fue financiada a través de RLB Binac 98/1, Fondecyt 1981050 y Fondecyt 7980003 a JAS y un aporte de la Liz Clairborne and Art Ortenberg Foundation a KR. Agradecemos especialmente a M. Moraes del Instituto de Ecología por su apoyo, a Ignacio Huareco y al personal de guardaparques de la EBB por su ayuda en las labores de campo.

Referencias

- Benítez-Malvido, J., G. García-Guzman & I. D. Kossmann-Ferraz. 1999. Leaf-fungal incidence and herbivory on tree seedlings in tropical rainforest fragments: an experimental study. *Biological Conservation* 91: 143-150.
- Crawley, M. J. 1997. Plant herbivore-dynamics. p. 401 – 474 en M.J. Crawley (ed.). *Plant Ecology*. Blackwell Science, Londres.
- De la Cruz, M. & R. Dirzo. 1987. A survey of the standing levels of herbivory in seedlings

- from a Mexican rain forest. *Biotropica* 19: 98-106.
- Dirzo, R., C. A. Domínguez & S.H. Bullock. 1989. On the function of floral nectar in *Croton soberosus* (Euphorbiaceae). *Oikos* 56: 109-114.
- Domínguez, C. A. & Dirzo, R. 1995. Plant-herbivore interactions in Mesoamerican tropical dry forests. p. 304 - 325 en S. H. Bullock, E. Medina & H.A. Mooney (eds.). *Seasonally Dry Tropical Forests*. Cambridge University Press. Cambridge.
- Filip, V., R. Dirzo, J. M. Maass & J. Sarukhán. 1994. Within and among year variation in the levels of herbivory on the foliage of trees from a Mexican tropical deciduous forest. *Biotropica* 27: 78-86.
- Larrea, D. 1999a. Efecto de la etapa de crecimiento y la concentración de nitrógeno y carbono en la folivoría por insectos en plántulas de *Swietenia macrophylla* (Meliaceae). *Ecología en Bolivia* 32: 29-35.
- Larrea, D. 1999b. Herbivoría por insectos en plántulas de *Swietenia macrophylla* (Meliaceae) y su relación con la densidad y distancia al árbol parental. *Ecología en Bolivia* 33: 43-50.
- Lowman, M. D. 1984. An assessment of techniques for measuring herbivory: Is rainforest defoliation more intense than we thought? *Biotropica* 4: 264-268.
- Rodríguez-Auad, K. 2000. Herbivoría en plántulas y árboles de *Nectandra longifolia* (Lauraceae), *Ampelocera ruizii* (Ulmaceae) y *Pseudolmedia laevis* (Moraceae), en un bosque fragmentado en la Estación Biológica del Beni-Bolivia. Tesis de Licenciatura en Biología. Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, 40 p.
- Roldán, A. I. 1997. El síndrome del bosque vacío ¿Es un fenómeno recurrente en los bosques neotropicales? Tesis de Magister en Ciencias. Universidad de Chile, Santiago. 63 p.
- Willems, S. & P. M. van de Plassche. 1996. A study on leaf herbivory rates of saplings in a Bolivian tropical forest. Programa de Manejo de Bosques de la Amazonía, Riberalta. 37 p.

Nota recibida en: Julio, 2000.
Manejada por: Lilian Painter
Aceptada en: Mayo, 2001.