

PATRONES DE ASIMETRÍA FLUCTUANTE Y HERBIVORÍA DE *Rhizophora mangle* EN LA MANCHA VERACRUZ: IMPORTANCIA DE LA PERTURBACIÓN DEL HÁBITAT

Dulce Stefany Arreola-Rivera✉, Yurixhi Maldonado-López y Pablo Cuevas-Reyes

Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo Avenida Francisco J. Múgica S/N, Ciudad Universitaria, 58030 Morelia, Michoacán, México.

Instituto de Investigaciones sobre los Recursos Naturales, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Avenida San Juanito Itzúcaro SN, Nueva Esperanza, 58330 Michoacán, México.

✉Autor de correspondencia: dulce_arreola@hotmail.com

RESUMEN. Los manglares se consideran "ecosistemas clave" porque proporcionan una amplia variedad de servicios ambientales y dan hábitat, refugio y alimento para numerosos organismos. Sin embargo, están altamente amenazados con pérdidas globales que superan el 35% debido a las actividades humanas relacionadas con la conversión del uso del suelo a maricultura, agricultura, silvicultura, urbanización, exploración petrolera y turismo. En algunos casos, la herbivoría puede causar lesiones letales a los árboles de mangle, pero hay una falta de información con respecto a los patrones de herbivoría en las especies de manglares y el estrés ambiental que ocasiona la perturbación de hábitats. El objetivo de este trabajo es documentar los cambios en los patrones de herbivoría y asimetría fluctuante (AF) como indicador de estrés ambiental de *Rhizophora mangle* L. en ambientes conservados y perturbados. Se colectaron y marcaron 20 individuos de *R. mangle* en cada condición para determinar los patrones de herbivoría y AF. En los hábitats perturbados, se encontró una mayor proporción de plantas y hojas atacadas por insectos, más cantidad de área foliar removida. La AF fue mayor en hábitats perturbados en comparación con preservados y una relación positiva entre AF con la herbivoría indicando que los herbívoros podrían ser una fuente de estrés o utilizar las hojas asimétricas como indicador de la calidad de la planta.

Palabras clave: simetría bilateral, área foliar consumida, estrés ecológico, cambios foliares.

Patterns of fluctuating asymmetry and herbivory of *Rhizophora mangle* in La Mancha Veracruz: importance of habitat disturbance

ABSTRACT Mangroves are considered "key ecosystems" because they offer a great variety of environmental services and provide habitat, refuge and food for different organisms. Nevertheless, they are highly threatened with global losses that exceed 35% due to human activities related to the conversion of land use to mariculture, agriculture, forestry, urbanization, oil exploration and tourism. In some cases, herbivory can cause lethal injuries in mangrove trees, but there is a lack of information regarding herbivory patterns in mangrove species and the environmental stress as a result of habitat disturbance. The objective of this study was to document the changes in herbivory and fluctuating asymmetry patterns as an environmental stress indicator of *Rhizophora mangle* in conserved and disturbed environments. In each environment condition, 20 individuals of *R. mangle* were collected and marked to determine herbivory and AF patterns. In the disturbed habitats, a higher proportion of plants and leaves attacked by insects was found, and more amount of foliar area removed by herbivorous insects. The FA was higher in disturbed compared to preserved habitats and, a positive relationship between FA and herbivory, indicating that herbivores could be a source of stress or using asymmetric leaves as an indicator of plant quality.

Key words: bilateral symmetry, leaf area consumed, ecological stress, leaf changes

INTRODUCCIÓN

La asimetría fluctuante (AF) es una medida de la inestabilidad en el desarrollo de los organismos que describe las diferencias aleatorias en forma y tamaño entre dos lados de un carácter bilateral (Cuevas-Reyes *et al.* 2011). En condiciones de estrés ambiental (i.e. contaminación, falta de

nutrientes, incidencia de patógenos y herbívoros), la resiliencia de los organismos decrece y los niveles de AF se incrementan (Hódar, 2002, Wilset *et al.* 1998). Por lo tanto, la AF se considera un indicador de estrés ambiental en los organismos y, particularmente en plantas es un indicador de susceptibilidad a la herbivoría (Cuevas-Reyes *et al.* 2013). Los insectos herbívoros asociados a manglares son diversos, y van desde generalistas, hasta extremadamente especialistas. Los daños foliares van desde pequeños hoyos, manchas necróticas, agallas y daños a lo largo del margen de las hojas por minadores de hojas (Ellison y Farnsworth 2001; Kathiresan 2003). Particularmente, la herbivoría por insectos folívoros (i.e. masticadores) es extremadamente variable entre individuos de la misma especie y entre especies de mangle y van desde 0.3 hasta 35%, inclusive en algunos casos, la herbivoría puede causar daños letales a los manglares (Robertson *et al.* 1992). Se ha reportado que estos niveles de herbivoría potencialmente pueden afectar el balance de carbohidratos, el crecimiento, la sobrevivencia y la probabilidad de muerte (Kathiresan y Bingham, 2001). Por lo tanto, la herbivoría puede ser un factor de estrés ambiental para los manglares (Pinter y Kalman 1979, Reyes-de la Cruz y Gaspar 2002). El estrés ambiental en plantas puede ser monitoreado mediante el análisis de la asimetría fluctuante (AF), definida como las diferencias aleatorias entre dos lados de un caracter bilateral de los organismos (Møller y Shykoff, 1999; Leamy y Klingenberg, 2005). La AF representa una medida de la inestabilidad del desarrollo, de caracteres bilateralmente simétricos. Se han encontrado aumentos significativos en AF para varias especies de plantas y animales en respuesta a varias tensiones, incluyendo factores ambientales tales como nutrición, temperatura y radiación y biológicos como la depredación, el parasitismo y la herbivoría (Cuevas-Reyes *et al.* 2011; 2018; Moller y Swaddle, 1997). Sin embargo, la relación entre la herbivoría y la AF no es clara en la literatura, en algunos casos se ha encontrado una relación positiva entre estos factores, indicando que los herbívoros representan un factor de estrés ambiental incrementando los niveles de AF (Lempa *et al.* 2000; Cuevas-Reyes *et al.* 2011a). Por otra parte, algunos autores han demostrado experimentalmente que la AF es un indicador de la susceptibilidad al daño por herbívoros, donde plantas con más hojas asimétricas experimentan mayores niveles de herbivoría. El mecanismo que explica estos patrones es que hojas más asimétricas tienen mayor calidad nutricional que hojas simétricas y por lo tanto utilizan las hojas asimétricas como indicador de la calidad nutricional de la planta (Cornelissen and Stiling 2005, 2011).

Los manglares se caracterizan por ser ambientes inundados con una humedad relativa alta y por albergar una gran diversidad de microorganismos e insectos herbívoros (Bandaranayake, 2002). Los manglares son la vegetación dominante que bordea las lagunas costeras y estuarios. Se estima que entre el 60 % y 75 % de las costas de las regiones tropicales están bordeadas por manglares (Flores -Verdugo *et al.*, 2007). Los manglares están adaptados a factores de estrés naturales como la temperatura, la salinidad, la anoxia e incidencia de rayos. Sin embargo, debido a que viven cerca de sus límites de tolerancia, pueden ser particularmente sensibles a modificaciones ambientales creadas por las actividades humanas. Debido a su proximidad a los centros de población, históricamente los manglares han sido sitios afectados por aguas residuales, contaminación de metales pesados en los sedimentos como derrames de aceites y de la producción de petróleo (Kathiresan *et al.*, 2001). Siendo considerados unos de los ecosistemas más frágiles de la naturaleza. Los insectos herbívoros son considerados como uno de los grupos de organismos que afectan la estructura, función y sucesión que de los manglares (Robertson *et al.*, 1990). Sin embargo, existe poca información sobre los patrones de herbivoría en hábitats perturbados. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue documentar los cambios en los patrones de herbivoría y asimetría fluctuante (AF) de *Rhizophora mangle* en ambientes conservados y perturbados de la región de La Mancha, Veracruz.

MATERIALES Y MÉTODO

***Rhizophora mangle* L. (Rhizophoraceae).** Árboles con el tronco y las ramas apoyadas en numerosas raíces zancudas, simples o dicotómicamente ramificadas, con numerosas lenticelas; la corteza lisa, grisácea, rojiza a pardo rojiza. Hojas simples, decusadas, lámina foliar elíptica a oblonga, de 8 a 13 cm de largo, 4 a 5.5 cm de ancho, ápice agudo. Hojas simples, decusadas, lámina foliar elíptica a oblonga, de 8 a 13 cm de largo, 4 a 5.5 cm de ancho, ápice agudo. Los insectos herbívoros asociados a *R. mangle* son especies del género *Phyllocnistis*, *Stephaniella*, *Monolepta*, *Dasychira*, *Capua* y *Odites* (Kathiresan, 2003).

Sistema de muestreo. Se eligió la región costa del Golfo de México en la población de La Mancha, Veracruz y sus alrededores. Con el fin de obtener la herbivoría acumulada, al final de la temporada de lluvias, se colectaron y marcaron 20 individuos de *R. mangle* en cada condición (conservado vs perturbado) (40 individuos) para determinar los patrones de herbivoría y AF. De cada individuo se seleccionaron 20 hojas de cada estrato del dosel (i.e. superior, medio e inferior) (Cuevas-Reyes *et al.*, 2011). Para controlar el efecto del tamaño de la planta, se midió el diámetro a la altura del pecho en cada individuo (Cuevas-Reyes *et al.*, 2004). Las hojas colectadas de cada individuo se separaron en dos grupos: para estimar la herbivoría las hojas fueron seleccionadas aleatoriamente y las hojas intactas (sin daño aparente por herbívoros) se utilizaron para los análisis de asimetría fluctuante (Cuevas-Reyes *et al.*, 2011).

Análisis de asimetría fluctuante. La AF fue calculada a partir de cada imagen digital de las hojas. La asimetría fluctuante se calculó como el valor absoluto de la diferencia entre las distancias de la vena media a derecha e izquierda del margen de la hoja ($|A_i - B_i|$), dividido por la distancia media ($(A_i + B_i) / 2$).

Análisis de área foliar removida. En cada hoja se estimó el área foliar total y el área consumida utilizando el “software” APS assess image. La diferencia entre las áreas estimadas se multiplicó por cien para obtener el porcentaje de área foliar consumida.

Análisis estadísticos. Para determinar si la asimetría fluctuante varía entre poblaciones e individuos se aplicó un análisis de varianza de una vía y una prueba de comparación múltiple de medidas. Para esto se utilizó el programa Sigma Scan Pro y posteriormente una prueba de Tukey-Kramer (SAS, 2000). Para determinar si el área foliar removida variaba entre poblaciones e individuos se aplicó un análisis de varianza de una vía y una prueba de comparación múltiple de medidas (Prueba de Tukey-Kramer (SAS, 2000)). En todos los casos, los valores de DAP se incorporaron en los análisis estadísticos como una covariable.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados mostraron que los individuos de *R. mangle* de sitios perturbados tuvieron mayores niveles de asimetría fluctuante en comparación con individuos de sitios conservados, lo que indica mayores niveles de estrés ambiental ($F= 113.2$; $g.l.= 1$; $P < 0.0001$) (Figura 1).

Análisis de herbivoría Los resultados del análisis indicaron que el porcentaje de área foliar consumida por insectos folívoros fue mayor en los hábitats perturbados que en los hábitats conservados ($F= 246.3$; $g.l.= 1$; $P < 0.0001$) (Figura 2).

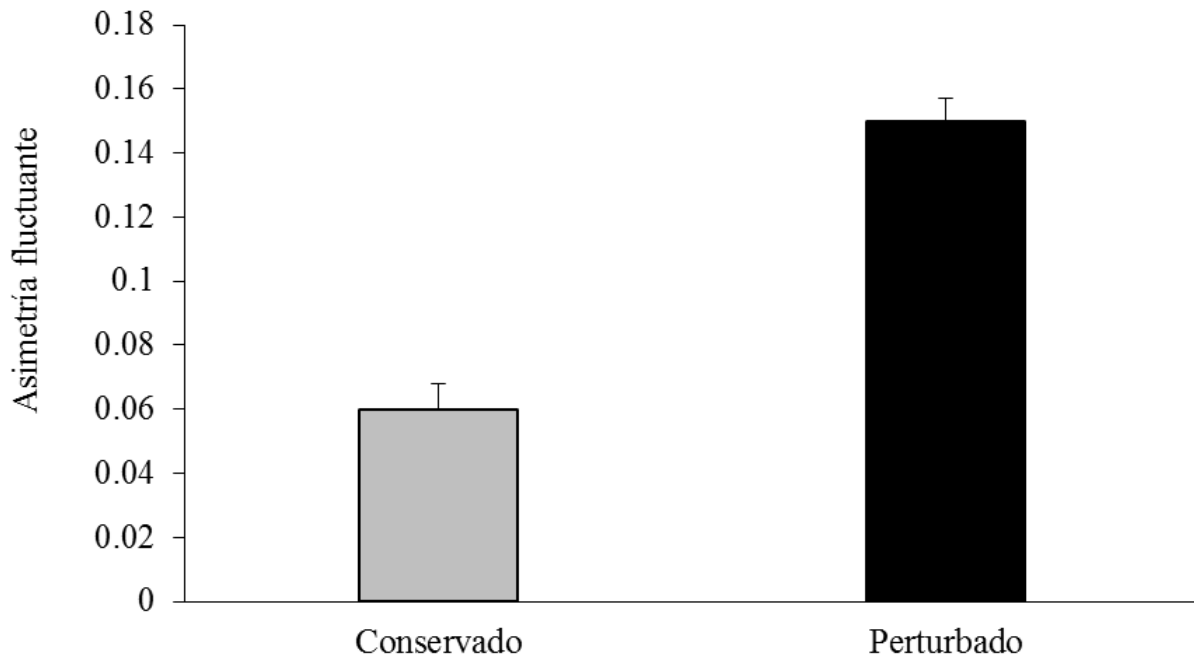


Figura 1. Diferencias en los niveles de asimetría fluctuante entre sitios conservados y perturbados de la Mancha, Veracruz ($F= 113.2$; $g.l.= 1$; $P < 0.0001$).

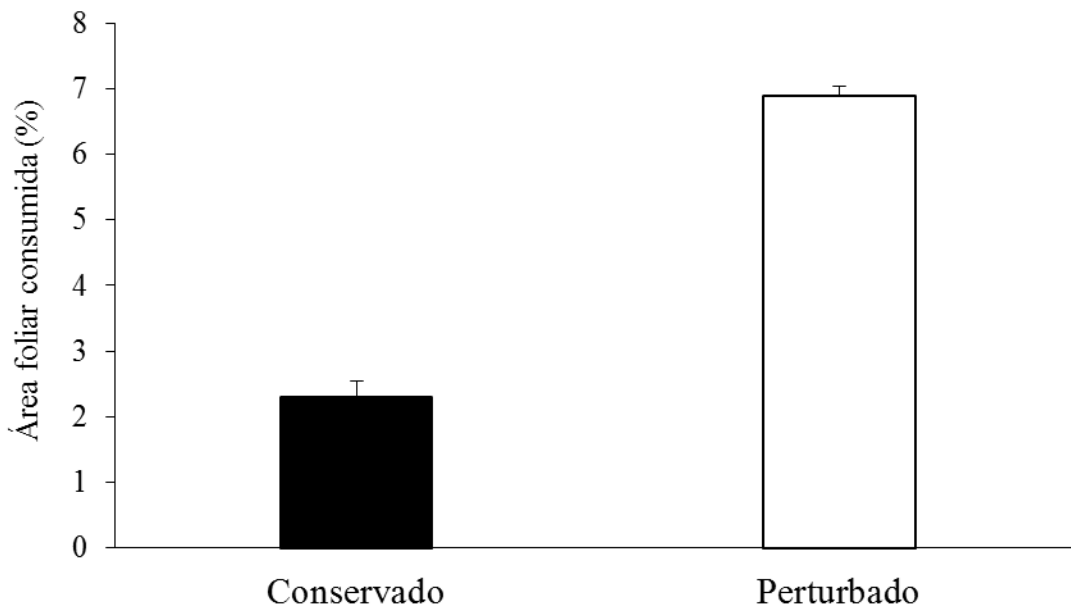


Figura 2. Figura que muestra mayores niveles de herbivoría expresados en porcentajes en individuos de *R. mangle* en los sitios perturbados en comparación con los sitios conservados ($F= 246.3$; $g.l.= 1$ $P < 0.0001$).

Finalmente, se encontró una relación positiva entre los niveles de herbivoría y los niveles de asimetría fluctuante de *R. mangle*, sugiriendo que la herbivoría es un factor de estrés ambiental en esta especie de mangle ($R^2= 71\%$; $P < 0.05$).

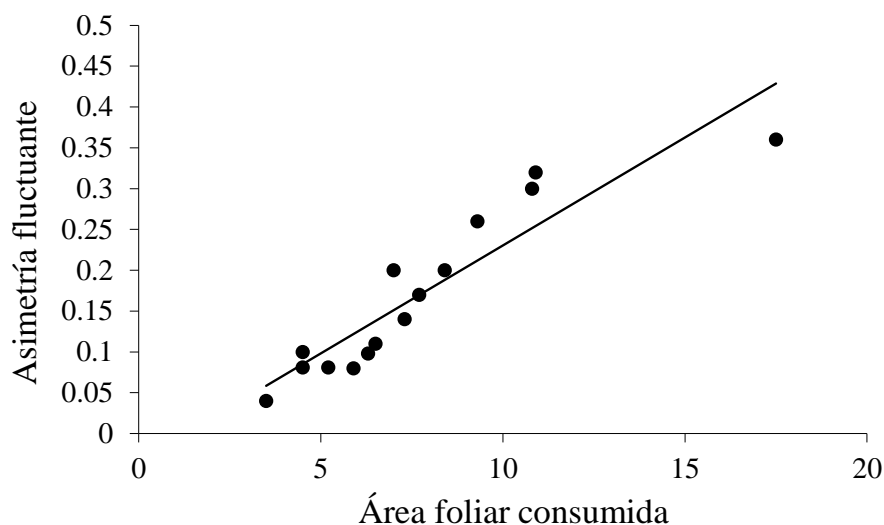


Figura 3. Relación entre la asimetría fluctuante foliar y los niveles de herbivoría de *R. mangle* en la Mancha, Veracruz ($R^2 = 71\%$; $P < 0.05$).

De acuerdo con los datos obtenidos en las frecuencias de herbivoría muestran que, en los hábitats perturbados, la proporción de individuos dañados por los insectos herbívoros fue mayor que la de los individuos no dañados en *Rhizophora mangle*. En plantas se ha encontrado que los niveles de AF foliar aumentan con la contaminación, la competencial y perturbación de hábitat. Además, nuestros resultados concuerdan con otros estudios que muestran una relación positiva entre la herbivoría y AF, sugiriendo que tanto la perturbación del hábitat como la herbivoría incrementan los niveles de estrés ambiental en *R. mangle* (Lempa *et al.*, 1999; Cuevas-Reyes *et al.*, 2018). Además, nuestros resultados sugieren que la AF es un excelente indicador de la susceptibilidad de las plantas ante la incidencia de insectos herbívoros.

CONCLUSIÓN

La perturbación de hábitat representa un factor de estrés ambiental (incremento de la temperatura, radiación en estos ambientes) que incrementa los niveles de herbivoría y asimetría fluctuante, lo cual potencialmente puede afectar negativamente el funcionamiento y desempeño de los individuos de *Rhizophora mangle*, teniendo implicaciones importantes en la conservación de esta especie en ambientes perturbados.

AGRADECIMIENTOS

A la Coordinación de la Investigación Científica, UMSNH por su apoyo financiero.

LITERATURA CITADA

- Bandaranayake, W. Wetlands. 2002. Ecology and Management 10: 421. doi.org/10.1023/A:1021397624349.
- Brown, V. K., & Lawton, J. H. 1991. Herbivory and the evolution of leaf size and shape. *Philosophical Transactions: Biological Sciences* 333, 265-272.
- Cornelissen, T., & Stiling, P. 2011. Similar responses of insect herbivores to leaf fluctuating asymmetry. *Arthropod-plant interactions*, 5(1), 59-69. doi: 10.1007/s11829-010-9116-1

- Cuevas RP, Quesada M, Hanson P, Dirzo R y Oyama, K. 2004. Diversity of gallforming insects in a Mexican tropical dryforest: the importance of plant species richness, life forms, host plantage and plant density. *Journal of Ecology*. 92:707–716.
- Cuevas-Reyes, P., Oyama, K., González-Rodríguez, A. G., Fernandes, G. W., & Mendoza-Cuenca, L. 2011. Contrasting herbivory patterns and leaf fluctuating asymmetry in *Heliocarpus pallidus* between different habitat types within a Mexican tropical dry forest. *Journal of tropical ecology*, 27(4), 383-391. doi: <https://doi.org/10.1017/S026646741100006X>.
- Cuevas, R.P. Canché- Delgado, A, Maldonado-López, Y, Oyama, K, González-Rodríguez, Antonio, Wilson- Fernandez, G. 2018. Patterns of herbivory and leaf morphology in two Mexican hybrid oak complexes: Importance of fluctuating asymmetry as indicator of environmental stress in hybrid plants. *Ecological Indicators*, 03.009, 90, (164-170).
- Ellison, A.M. & E.J. Farnsworth. 2001. Mangrove communities. In: Bertness, M.D., S.D. Gaines & M.E. Hays (eds) *Marine Community Ecology*. Sinauer Associates. Sunderland. p. 423-442.
- Flores-verdugo. F,J, Agraz Hernandez,C, Benitez Pardo, D. 2007. Ecosistemas acuaticos costeros, importancia, retos y prioridades para su conservación. Secretaria de medio ambiente y recursos naturales. Instituto nacional de ecología unidos para la conservación A.C. Escuela de biología de la universidad michocana San Nicolás de Hidalgo. pp. 149-150.
- Hódar, J. A. 2002. Leaf fluctuating asymmetry of Holm oak in response to drought under contrasting climatic conditions. *Journal of arid environments*, 52(2), 233-243. doi: doi.org/10.1006/jare.2002.0989.
- Kathiresan, K., Bingham, B.L. 2001. Biology of mangroves and mangrove ecosystems. *Adv. Mar. Biol.* 40, 81–251.
- Robertson, A.I. y D.M. 1992. *Alongi Tropical Mangrove Ecosystems*. American Geophysical Union. Washington, DC. USA. pp. 350.
- Kathiresan, K. 2003. How do mangrove forests induce sedimentation? *Revista de Biología Tropical*, 51(2), 355-360.
- Kathiresan, K. 2003. Insect folioivory in mangroves. *Indian Journal of Marine Sciences*. (2003) 32, pp. 237-251.
- Lempa, K., Martel, J., Koricheva, J., Haukioja, E., Ossipov, V., Ossipova, S., & Pihlaja, K. 2004. Covariation of fluctuating asymmetry, herbivory and chemistry during birch leaf expansion. *Oecología*, 122(3), 354-360.
- Leamy, L.J.; Klingenberg, C.P.; Sherratt, E.; Wolf, J.B.; Cheverud, J.M. 2015. The Genetic Architecture of Fluctuating Asymmetry of Mandible Size and Shape in a Population of Mice: Another Look. *Symmetry* 7, 146-163.
- Leamy, L. J, and C. P. Klingenberg. 2005. The genetics and evolution of fluctuating asymmetry. *Annual Reviews of Ecology, Evolution and Systematics* 36: 1–21.
- Moller, A.P. y J.P. Swaddle. 1997. *Asymmetry, Developmental, Stability, and Evolution*. Oxford New York Tokyo. 14-17. ISBN 0 19 854895 8.
- Lempa, K., Martel, J., Koricheva, J. *et al.* 2000. *Oecologia* 122: 354. doi.org/10.1007/s004420050041.
- Moller, AP y Skykoff JA. 1999. Morphological developmental stability in plants: patterns and causes. *International Journal of Plant Sciences*, 160:S135-S146.
- Pinter, L. y L. Kalman. 1979. Effects of defoliation on lodging and yield of maize hybrids. *Exp. Agric.* 15: 241-243.
- Robertson, A.I. y D.M. Alongi. 1992. *Tropical Mangrove Ecosystems*. American Geophysical Union. Washington, DC. USA. (3) 41 pp. 350. ISSN 0733-9569.
- Reyes-De La Cruz, A. y G. López-Ocaña. 2002. Preliminary Assessment of Flooding Effects and Herbivory on Mangrove Seedlings. *Universidad y Ciencia*, 18 (36): 135-139.
- SAS. 2000. *Categorical data analysis using the SAS system*. SAS Institute, Cary. pp 619.