

Efecto de la estructura del paisaje agrícola en la diversidad arbórea

Wilmer E. Pozo-Rivera^{1*}, Carlos D. Cárdenas-Tello¹, Armando Echeverría², Vicente Berovides Álvarez³ & Nancy Ricardo-Nápoles⁴

¹Laboratorio de Zoología y Museo de Investigaciones Zoológicas, Departamento Ciencias de la Vida, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Sangolquí-Ecuador. *e-mail: wepozo@espe.edu.ec

²Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción. Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Sangolquí-Ecuador.

³Departamento de Biología Vegetal y Genética, Facultad de Biología, Universidad de La Habana. La Habana-Cuba. e-mail: vbero@fbio.edu.ec

⁴Instituto de Ecología y Sistemática. CYCMA. La Habana-Cuba. e-mail: nancy@ecologia.cu

RESUMEN

Los bosques lluviosos tropicales están siendo afectados por la fragmentación de los hábitats naturales. La mayoría de estudios para determinar el efecto de la estructura del paisaje sobre la diversidad arbórea, se han realizado en matrices agrícolas que conservan remanentes de bosque natural. Sin embargo pocos estudios sobre el efecto de la estructura del paisaje sobre la diversidad arbórea, se han realizado en áreas carentes de hábitats naturales. En el presente estudio, se evaluó el efecto de la composición y configuración del paisaje agrícola sobre las características de la diversidad arbórea. Se calcularon las medidas de biodiversidad de los árboles de cuatro diferentes tipos de coberturas arbóreas, presentes en cuatro sitios localizados al Noroccidente del Ecuador. Del mapa oficial de coberturas de uso de suelo, se obtuvieron métricas de composición y configuración del paisaje. Se elaboraron tres matrices de distancia euclidiana, que fueron sometidas a la prueba de correlaciones de matrices de Mantel. Se encontró un efecto recíproco entre la cantidad de fragmentos agrícolas del paisaje y la densidad arbórea, y entre la heterogeneidad del paisaje agrícola y la equitatividad arbórea.

Palabras clave.- Fragmentación, composición, configuración, índices ecológicos, modelos nulos.

ABSTRACT

Tropical rainforests are being affected for fragmentation forest. Most studies to determine the effect of landscape structure on tree diversity have been

made in agricultural matrices that retain remnants of natural forest. However, few studies about the effect of landscape structure on tree diversity has been carried out in landscapes lacking natural habitats. In this research, the effect of the composition and configuration of the agricultural landscape on the characteristics of the tree diversity was evaluated. Tree biodiversity measures of four types of cover tree at four sites located in the northwestern of Ecuador were calculated. Metrics of landscape composition and configuration of the official map of land use coverages were obtained. Three matrices of Euclidean distance were elaborated, and a test of correlations of matrices of Mantel was conducted. A reciprocal effect between the number of agricultural fragments of the landscape and the tree density and an effect of heterogeneity of the agricultural landscape and the arboreal equitability were found.

Key words.- Fragmentation, composition, configuration, ecological index, nulls models.

ISSN 1390-3004

Recibido: 12-06-2017

Aceptado: 05-09-2017

INTRODUCCIÓN

La pérdida de la continuidad del hábitat original y su subdivisión en pequeños parches, genera fragmentación del paisaje (Didham, 2010). La estructura del paisaje pueden modificarse con el paso del tiempo; las alteraciones pueden ser ocasionadas por fenómenos naturales o por actividades antrópicas, especialmente agrícolas (Vila-Subirós *et al.*, 2006; Xu *et al.*, 2016; Rossetti *et al.*, 2017). En ecología del paisaje, la estructura se evalúa con índices que miden la composición y configuración de las unidades morfológicas que constituyen el paisaje (Farina, 2006). La fragmentación de los hábitats naturales reduce el espacio para la vida silvestre, generando pérdida de especies (Fahrig, 2003), y cambios en las características de la biodiversidad que persiste en los fragmentos y en sus corredores (Vila-Subirós *et al.*, 2006).

Los efectos de la fragmentación, sobre las características de la diversidad arbórea, se han estudiado en la vegetación natural que vive en los fragmentos naturales (Pincheira-Ulbrich *et al.*, 2009), dejándose de lado el efecto de la estructura del paisaje agrícola en la diversidad arbórea residual o plantada en los fragmentos artificiales que conforman las coberturas de uso de suelo agropecuario. El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de la estructura del paisaje agrícola en la diversidad arbórea presente en cuatro diferentes tipos de coberturas arbóreas establecidas en la zona noroccidental del Ecuador. Se supuso que las características de la composición y configuración del paisaje agrícola, se asocian en forma positiva a las características de la diversidad arbórea.

METODOLOGÍA

Se seleccionaron cuatro sitios del Noroccidente ecuatoriano, localizados en las provincias de Pichincha y Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador. El clima

es cálido-húmedo, su precipitación anual es de 3 088,4 mm y su temperatura media anual de 24,5 °C. La formación de vegetación original, correspondía al Bosque Siempre Verde de Tierras Bajas (Sierra, 1999), la misma que ha sido desplazada por sistemas de producción agrícola, que han destruido el hábitat natural en un 89 % (Sierra *et al.*, 2002).

Para cumplir con el objetivo, se obtuvieron las características de conformación y configuración de las teselas agrícolas, para lo cual se extrajeron cuatro variables de composición [porcentaje de cobertura, densidad de fragmentos (No. fragmento/100ha), tamaño medio del fragmento (ha) y diversidad de parches (índice de Shannon)] (Botequilha *et al.*, 2006; Farina, 2006; Faith y Du, 2017), y tres variables de configuración [densidad de borde (m/ha), irregularidad de borde, y forma media de los fragmentos (índice de Patton) (Laurence y Yensen, 1991; Pincheira-Ulbrich *et al.*, 2009; Hou y Walz, 2016).

Las variables fueron obtenidas del Mapa de Coberturas de Uso de Suelo (2013-2014), descargado del Sistema Nacional de Información Geográfica del Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca del Ecuador (MAGAP, 2014). La escala del citado mapa es de 1:100 000, la exactitud del mapa es del 90 % con una precisión de escala de ± 30 m (MAGAP, 2014). El análisis de la estructura del paisaje se realizó con la extensión Patch Analyst ® (CNFER, 2015) instalada en el sistema de información geográfica ArcGIS ® 10.2 (ESRI, 2013).

Para definir las características de la diversidad arbórea presente en los sitios estudiados (ensamblajes), se escogieron cuatro coberturas arbóreas comunes (cercas vivas poliespecíficas, cercas vivas monoespecíficas, árboles dispersos en potreros, y plantaciones de cacao). En cada tipo de cobertura, se establecieron tres parcelas de 100 m², con una separación mínima de 300 m, instaurando un total de 12 parcelas por sitio y 48 parcelas en los cuatro sitios estudiados. En todas las parcelas se contó e identificó a todos los árboles con DAP > 5 cm, las especies de difícil identificación *in situ*, fueron determinadas en el herbario de la Carrera de Ingeniería Agropecuaria de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE. Por cada sitio, se calculó la densidad (número de árboles cada 1 200 m²), riqueza (número de especies por sitio), diversidad arbórea (expresada con el índice de Shannon), y equitatividad arbórea (obtenida con el índice de Pielou), los índices se obtuvieron con Biodiversity Pro ® (McAleece *et al.*, 1997).

Los niveles de asociación entre las métricas del paisaje y de la diversidad arbórea, fueron deducidos mediante la prueba de Mantel, la que examina los coeficientes de correlación lineal entre matrices de distancia euclidiana (MDE) (Legendre *et al.*, 2015). Estas pruebas se realizaron con Infostat ® (Balzarini *et al.*, 2013), la medida de magnitud de asociación de la prueba, se expresó con r_{Pearson} (Balzarini *et al.*, 2013); valores de $p \leq 0,05$, fueron considerados significativos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las MDE del porcentaje de cobertura y del tamaño medio del fragmento agrícola, no se asociaron con las MDE de ninguna de las métricas de biodiversidad arbórea ($p > 0,05$ en todos los casos). Las MDE entre sitios, medidas a través de la densidad de los fragmentos agrícolas y la heterogeneidad del paisaje, se asociaron en forma positiva, significativa y respectiva con las MDE medidas con la densidad y equitatividad arbórea de los sitios. De estas asociaciones se desprende que existe un efecto recíproco entre la densidad de fragmentos y la densidad arbórea; es decir que los sitios con densidad de fragmentos similar, presentan también similitudes en la densidad arbórea y viceversa (Figura 1A). El mismo resultado también se encontró entre la heterogeneidad del paisaje y la equitatividad arbórea (Figura 1B).

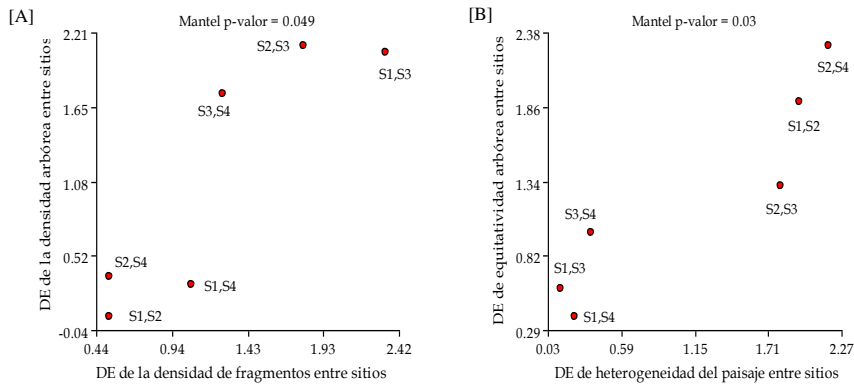


Figura 1. Asociación positiva y significativa entre la distancia euclidiana (DE) de los sitios medida a través: de [A] la densidad de fragmentos y la densidad arbórea ($r_{pearson} 0,89$; $p= 0,05$), y de [B] la heterogeneidad del paisaje y la equitatividad arbórea ($r_{pearson} 0,92$; $p= 0,03$).

Las MDE elaboradas con las métricas de configuración del paisaje, no mostraron niveles de asociación significativos con ninguna de las MDE elaboradas a partir de los índices de diversidad arbórea (Tabla 1).

Tabla 1. Coeficiente de correlación y valor de p (valor del paréntesis), entre las matrices de distancia euclidianas de las métricas de configuración del paisaje agrícola y los ensamblajes arbóreos (índices de biodiversidad por sitios). Noroccidente ecuatoriano.

Ensamblaje de árboles	Configuración		
	Densidad de Borde	Irregularidad de Borde	Forma de Fragmento
Densidad	0,53 (0,27)	-0,32 (0,63)	-0,21 (0,95)
Riqueza	-0,50 (0,79)	-0,48 (0,85)	0,06 (0,49)
Diversidad	-0,29 (0,58)	-0,40 (0,92)	-0,16 (0,49)
Equitatividad	0,36 (0,35)	0,38 (0,26)	-0,32 (0,92)

Pincheira-Ulbrich *et al.* (2009) han demostrado que en fragmentos del hábitat original, la riqueza de los árboles, aumenta significativamente con el tamaño del fragmento. En el presente estudio, se encontró una asociación negativa pero no significativa ($r_{pearson} -0,62$; $p= 0,85$) entre las MDE de estas variables; lo que podría deberse a que las especies arbóreas tomadas en cuenta, para el análisis, provienen de árboles plantados por los tenedores de la tierra. Es decir que, las condiciones artificiales del paisaje agrícola estudiado alterarían la respuesta esperada.

Las cercas vivas (dos de los tipos de coberturas estudiadas), son considerados conectores de los fragmentos (Vila-Subirós, 2006) y, con el aumento del número de cercas en el paisaje, sube también el número de polígonos, por lo que las cercas juegan un valioso rol en la conectividad y la definición de la composición y configuración de los paisajes agrícolas neotropicales (Chacón y Harvey, 2006).

Se ha demostrado que con el cambio de uso de suelo agrícola, cambia también la abundancia de los árboles residuales (Roa-Romero *et al.* 2009; Ma *et al.*, 2013); esta premisa explica el efecto de la heterogeneidad del paisaje, con la equitatividad arbórea encontrada en el presente estudio, pues el 50 % de las coberturas arbóreas evaluadas, se conforman por una sola especie arbórea (cercas monoespecíficas y plantaciones de cacao), las mismas que aportan con mayor cantidad de árboles a la abundancia arbórea del paisaje. Cabe aclarar que la heterogeneidad el paisaje, en fragmentos de hábitat natural, se asocia mejor con la riqueza de especies antes que con su equitatividad (Katayama *et al.*, 2014), por lo que la correlación entre el índice de Shannon del paisaje y la equitatividad arbórea de las coberturas, se deben a la ausencia de fragmentos del hábitat natural en la matriz agrícola estudiada.

CONCLUSIONES

Los sitios con mayor cantidad de fragmentos agrícolas incrementan su densidad arbórea, expresada en número de árboles por área. Así mismo, en los sitios de paisajes más heterogéneos, la abundancia de las especies arbóreas tiende a ser más equilibrada.

AGRADECIMIENTOS

A Gabriel Moya, por la ayuda en la toma de datos de campo. A los fondos semilla del Vicerrectorado de Investigaciones de la ESPE, por financiar parte de los viajes de campo. Al Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador por proporcionar la información climática proveniente de las Estaciones Puerto Ila y La Concordia. A los dos revisores anónimos del VI Encuentro Iberoamericano de Biometría, por sus valiosos comentarios y sugerencias.

REFERENCIAS

- Balzarini M., L. Gonzáles, M. Tablada, F. Casanoves, J. Di Rienzo & C. Robledo. 2013. *InfoStat: manual del usuario*. Córdoba: Brujas.
- Botequilha A., J. Miller, J. Ahern & K. McGarigal. 2006. *Measuring landscapes: a planner's handbook*. Inland Press. Whashington - USA.
- Chacón M. & C.A. Harvey. 2006. Live fences and landscape connectivity in a Neotropical agricultural landscape. *Agroforestry Systems* 68: 15-26.
- CNFER, Centre for Northern Forest Ecosystem Research. 2015. Path Analyst. Spatial Ecology Program. Queens Press, Ontario Ministry of Natural Resources and Forestry. [En línea] http://www.cnfer.on.ca/SEP/patchanalyst/Patch5_2_Install.htm. Fecha de consulta: 07-05-2015.
- Didham R.K. 2010. Ecological consequences of hábitat fragmentation. Pp. 1-11. In: *Encyclopedia of Life Sciences (ELS)*. John Wiley & Sons, Ltd. Chichester London-England. DOI: 10.1002/9780470015902.a0021904.
- ESRI, Environmental Systems Research Institute. 2013. ArcGIS 10.2. for desktop. Redland, CA. [En línea] <http://www.esri.com/software/arcgis/arcgis-for-desktop>. Fecha de consulta: 07-05-2015.
- Faith J.T., A. Du. 2017. The measurement of taxonomic evenness in zooarchaeology. *Archaeological and Anthropological Sciences*. Versión en línea 21-01-2017. DOI: 10.1007/s12520-017-0467-8.
- Fahrig L. 2003. Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics* 34(1):487-515. DOI: 10.1146/annurev.ecolsys.34.011802.132419.
- Farina A. 2006. *Principles and methods in landscape ecology: towards a science of the landscape*. Second Edition. Chapman & Hall. London.
- Hou W. & U. Walz. 2016. An integrated approach for landscape contrast analysis with particular consideration of small habitats and ecotones. *Nature Conservation* 14: 25-39. DOI: 10.3897/natureconservation.14.7010.
- Katayama N., T. Amano, S. Naoe, T. Yamakita, I. Komatsu, S. Takagawa, N. Sato, M. Ueta & T. Miyashita. 2014. Landscape Heterogeneity-Biodiversity Relationship: Effect of Range Size. *PLoS ONE* 9(3): e93359. DOI: 10.1371/journal.pone.0093359.
- Laurence W.F. & E. Yensen. 1991. Predicting the impacts of edge effects in fragmented habitat. *Biological Conservation* 55: 77-92.
- Legendre P., M.J. Fortin & D. Bocard. 2015. Should the Mantel test be used in spatial analysis? *Method in Ecology and Evolution* 6: 1239-1247. DOI: 10.1111/2041-210X.12425.
- Ma X., A. Huete, Q. Yu, N. Restrepo-Coupe, K. Davies, M. Broich, P. Ratana, J. Beringer, L.B. Hutley, J. Cleverly, N. Boulain & D. Eamus. 2013. Spatial patterns and temporal dynamics in savanna vegetation phenology across the North Australian Tropical Transect. *Remote Sensing of Environment* 139: 97-115. DOI: 10.1016/j.rse.2013.07.030.
- MAGAP, Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca del Ecuador. 2014. Mapa de cobertura y uso de la tierra del Ecuador Continental, Escala 1:100 000, Año 2013-2014. Ministerio de

- Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca, Ministerio del Ambiente y Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. [En Línea] http://sinagap.agricultura.gob.ec/mapa_de_uso/index.php/en/geodatabases. Fecha de consulta: 15-05-2016.
- McAleece N., P.J.D. Lamshead, G.L.J. Paterson & J.D. Gade.** 1997. *BioDiversity Professional*. Version 2. The Natural History Museum y The Scottish Association for marine science.
- Pincheira-Ulbrich J., J. Jr. Rau & F. Peña-Cortés.** 2009. Tamaño y forma de fragmentos de bosque y su relación con la riqueza de especies de árboles y arbustos. *Phyton* 78: 121-128.
- Roa-Romero H.A., M.G. Salgado-Mora & J. Álvarez-Herrera.** 2009. Análisis de la estructura arbórea del sistema agroforestal de cacao (*Theobroma cacao* L.) en el Sonusco, Chiapas. *Acta Biológica Colombiana* 14(3): 97-110.
- Rossetti M.R., T. Tschardtke, R. Aguilar & P. Batary.** 2017. Responses of insect herbivores and herbory to habitat fragmentation: a hierarchical meta-analysis. *Ecology Letters* 20: 264-272. DOI: 10.1111/ele.12723.
- Sierra R., F. Campos & J. Chamberlin.** 2002. Assessing biodiversity conservation priorities: ecosystems risk and representativeness in continental Ecuador. *Landscape and Urban Planning* 59: 95-110.
- Sierra R. (ed.).** 1999. *Propuesta preliminar de un sistema de clasificación de vegetación para el Ecuador Continental*. Proyecto INEFAN/GEF-BIRF y EcoCiencia. Quito - Ecuador.
- Vila-Subirós J., D. Varga-Linde, A. Llausás-Pascual & A. Ribas Palom.** (2006). Conceptos y métodos fundamentales en ecología del paisaje (landscape ecology): una interpretación desde la geografía. *Documents D'Analisi Geografica* 48: 151-166.
- Xu Y., X. Xu & Q. Tang.** 2016. Human activity of land Surface: concept, methods and application in China. *Journal of Geographical Science* 26(9): 1349-1361