

Tratado sobre la distribución espacial de las especies leñosas de un bosque de niebla tropical

A. Ledo ^{1,2*}

(1) Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Universidad Politécnica de Madrid
(2) CIFOR-INIA

* Autor de correspondencia: A. Ledo [alicialedo@gmail.com]

> Recibido el 6 de diciembre de 2012, aceptado el 7 de enero de 2013.

Ledo, A. (2013). Tratado sobre la distribución espacial de las especies leñosas de un bosque de niebla tropical. *Ecosistemas* 22(1):77-79. Doi.: 10.7818/ECOS.2013.22-1.16

El bosque de niebla, uno de los ecosistemas con mayor riqueza de especies y porcentaje de endemismos (Gentry 1992), es uno de los ecosistemas más frágiles y amenazados a nivel mundial. Sin embargo, es uno de los ecosistemas menos estudiados (Bruijnzeel et al. 2011). Los bosques de niebla dependen de la existencia de unas condiciones de humedad y temperatura determinadas tales que permiten la formación de nubes que cubren el bosque (Hamilton 1995), lo que dificulta en gran medida su conservación.

La principal amenaza de estas formaciones es el hombre (Bubb et al. 2004), tanto por acción directa como por acción indirecta. Ya en los años 90 se estimó que el 90 % de los bosques de niebla de los Andes habían sido talados (Hamilton 1995), una situación que se ha agravado en los últimos años -aunque es necesario recordar que la mayoría de estos bosques se encuentran en zonas económicamente deprimidas de países en vías de desarrollo (Fig.1). Conjuntamente, entre los efectos derivados del cambio climático global, está su afección al régimen pluviométrico y formación de nubes (Still et al. 1999), lo que produce cambios en las condiciones microclimáticas necesarias para la existencia y mantenimiento del bosque de niebla (Foster 2001, Ledo et al. 2009). La responsabilidad humana en el proceso de cambio climático es inequívoca.



Figura 1. Mapa de la distribución potencial de bosques de niebla en el mundo. Fuente: UNEP.

Uno de los aspectos más importantes para entender este ecosistema es identificar los elementos que lo componen y los mecanismos que regulan las relaciones entre ellos. Los árboles son el soporte del ecosistema. Su distribución es resultado de la interacción y equilibrio entre factores ambientales heterogéneos, perturbaciones, procesos ecológicos como la competencia inter e intraespecífica (Tilman 1994), las estrategias de dispersión (Burslem et al. 2001), los patrones de regeneración (Chazdon et al. 1996), los procesos de mortalidad (Batista y Maguire 1998) e incluso características genéticas a escala local (Law et al. 2001). Esos procesos varían, además, a escala temporal y espacial (He et al. 1996).

El objetivo de mi tesis es estudiar la distribución y organización espacial de las especies leñosas en un bosque de niebla e identificar los factores implicados en la distribución observada. Para ello, se estudió la organización espacial de cada especie, la dependencia espacial entre pares de especies y cómo afectan las condiciones de microhábitat a la distribución de especies dentro del bosque. Estos aspectos se examinaron desde el estado de plántula hasta el adulto, tanto conjuntamente como para cada especie de árbol.

El área de estudio fue un bosque de niebla situado en la región Norte de la cordillera occidental de los Andes peruanos (Fig. 2). Este bosque formaba parte del cinturón original de bosques de niebla hoy reducido a pequeñas manchas. Para el presente estudio, se inventariaron 3 parcelas de situadas en el interior del bosque, donde se posicionaron y midieron todas las plantas leñosas (sin excepción de diámetro). Dentro de cada parcela se replantearon 42 subparcelas aleatorias de 4m² donde se registró el regenerado, se tomaron fotos hemisféricas, se estimó *de visu* la cobertura del suelo y se colocaron durante tres días en cada una receptores de humedad y temperatura.

Los datos se han analizado mediante el uso de técnicas de estadística espacial y análisis multivariante (Creesie 1993; Illian et al. 2008). Además, se han desarrollado nuevas funciones y aproximaciones metodológicas (Ledo et al. 2009; Ledo et al. 2011).

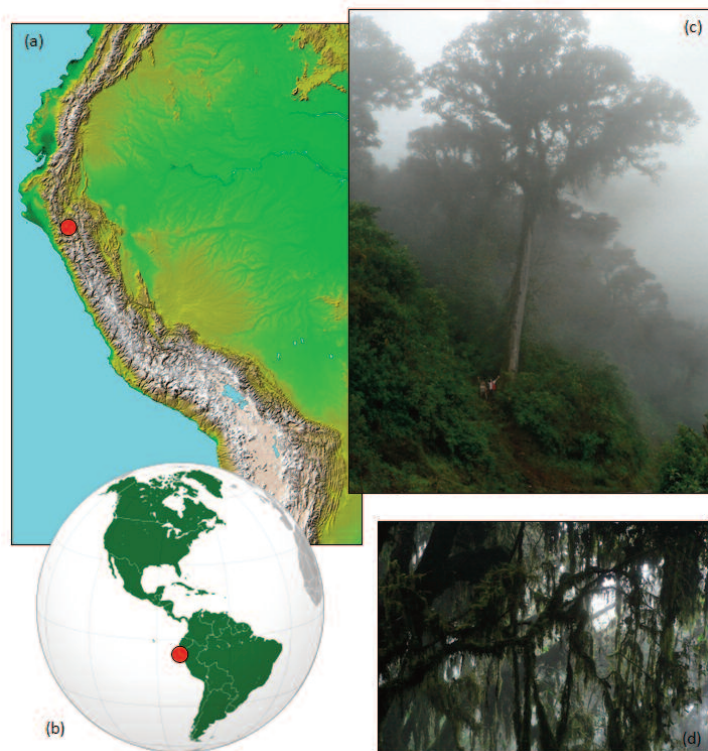


Figura 2. Área de estudio incrementando la escala (a) situación política en el continente americano (b) posición geográfica en la zona andina (c) foto desde el exterior del bosque (d) foto del interior del bosque de niebla.

Resultados más relevantes

Se observó que los árboles (individuos con altura mayor a 1.3 m) aparecían significativamente agregados en el bosque, tanto considerando todos a la vez como cuando se estudió cada especie por separado (funciones patrones de puntos; p -value $_{distribución\ aleatoria} < 0.01$). Es decir, formando bosquetes. Sin embargo, cada especie mostró un patrón distinto así como una relación espacial particular entre individuos jóvenes y adultos (funciones bivariantes de patrones de puntos; p -value $_{ausencia\ relación} < 0.01$). Como se puede ver en la **Fig. 3**; el modo de dispersión, la posición fitosociológica y la tolerancia a la sombra de las especies estuvieron relacionadas con el patrón general observado así como con la relación espacial entre individuos jóvenes y adultos de cada especie (Ledo et al. 2012c).

Se observó también para esos mismo árboles que ciertas especies aparecían espacialmente relacionadas con otras (funciones bivariantes de patrones de puntos; p -value $_{no\ asociación} < 0.05$) tanto de forma positiva (atracción) como negativa (repulsión); sumando el 0.04 % de las asociaciones potenciales y donde el 85 % de ellas fueron de atracción. Las asociaciones fueron mucho más numerosas dependiendo del estado ontogenético de los pares de especies (sumando el 0.22 % de las asociaciones potenciales), es decir, si estaban en estado opuesto: individuos jóvenes de la especie i aparecían cerca de individuos maduros de la especie j ; o en similar estado: individuos jóvenes/adultos de i aparecían junto a individuos jóvenes/adultos de j respectivamente (funciones bivariantes de patrones de puntos; p -value $_{no\ asociación} < 0.05$). El 68 % de estas asociaciones fueron positivas y a distancias menores a 10 m, indicando la existencia de cierta dependencia espacial entre individuos de determinadas especies. Esto indicaría que existe facilitación entre especies y que ésta no sólo es asimétrica sino que además varía a lo largo de la vida de la planta. Por el contrario, la casi ausencia de repulsión específica en este segundos análisis indicaría que la competencia es un fenómeno más generalista (Ledo et al, datos sin publicar).

Algunas especies aparecieron preferentemente bajo ciertas condiciones de hábitat y/o evitando otras (análisis asociaciones especies-hábitat; p -value $_{especie\ independiente\ hábitat} < 0.05$). La definición

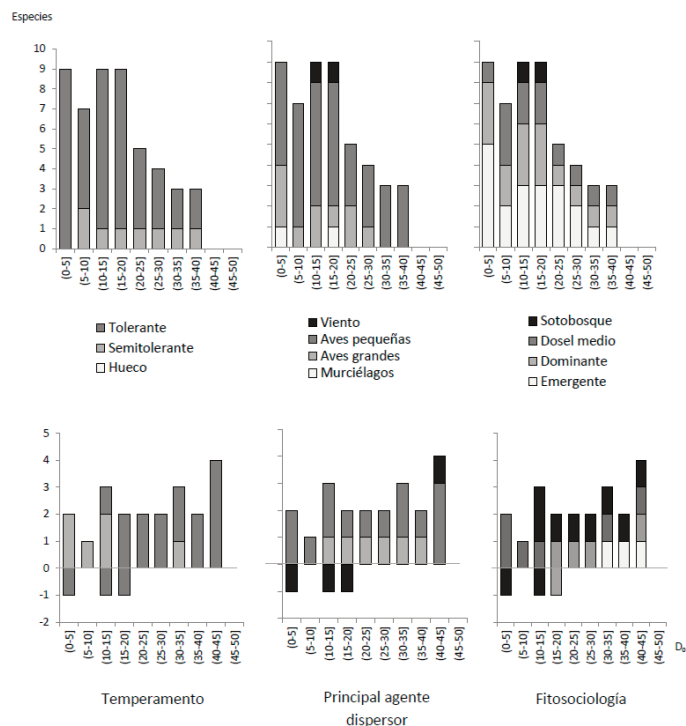


Figura 3. Histogramas del número de especies que mostraron atracción espacial (arriba) e histogramas del número de especies que mostraron atracción espacial (valores positivos) o repulsión espacial (valores negativos) entre individuos jóvenes y adultos a las distancias indicadas. Se indica la clasificación de especies según (a) temperamento (b) principal agente dispersor y (c) posición fitosociológica.

de hábitat a la que mejor respondieron los árboles fue aquella en la que se incluyeron tanto variables topográficas (altitud, temperatura, curvatura del terreno) como de estructura forestal (altura dominante, número de árboles, *Global Site Factor* y número de especies). Bajo esa definición, un 50 % de las especies mostraron relación con algún hábitat, frente al 36 % que mostraban correlación cuando sólo se incluyeron variables topográficas y al 22 % cuando se incluyeron sólo de estructura forestal en la definición de los hábitats; demostrando que es necesario considerarlas conjuntamente para definir los nichos de las especies. Esta 'separación' de las especies en diferentes hábitats dentro del bosque es importante para la coexistencia de especies y para la dinámica forestal, ya que se encontraron especies que aparecen preferentemente tras la apertura de huecos (especies 'pioneras'), mientras que otras especies aparecieron siempre bajo el dosel arbóreo. Además, estas especies 'pioneras' favorecen el establecimiento de vegetación típica de sotobosque y del dosel maduro, indicando así que posiblemente existe una sucesión ordenada en la masa (Ledo et al, en prensa).

La distribución de las plántulas también estuvo relacionada con condiciones de hábitat (krigeado universal geoestadístico), pero solo explicando hasta un 30 % de la variabilidad espacial (**Fig. 4**) y siendo específica para cada especie. El 55 % de las especies de plántulas evitan la cercanía de adultos de su misma especie, esto es, padres potenciales (funciones bivariantes de patrones de puntos; p -value $_{no\ asociación} < 0.05$). Además, mis resultados sugieren que las especies arbóreas están muy especializadas a germinar bajo esas condiciones de sombra propias del dosel de bosque de niebla (análisis de correlación). Esto explicaría por qué se observó que las plantas sólo germinan bajo el dosel, especialmente en las zonas más cerradas con presencia de árboles maduros. Esto es un aspecto esencial si se pretende favorecer la regeneración natural o incluso para germinar plántulas a partir de semillas que puedan ser empleadas en repoblaciones. Asimismo, no hay que olvidar el hecho que de estar cerca de un individuo adulto de su misma especie puede implicar la mortalidad de la plántula (Ledo et al, en preparación).

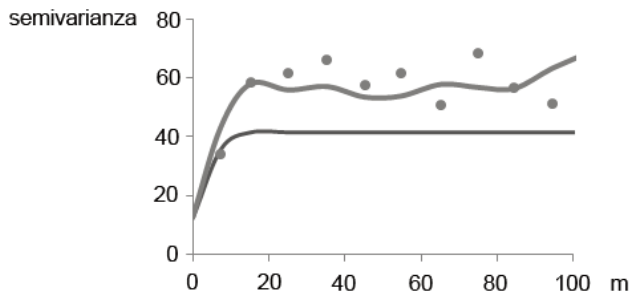


Figura 4. Semivariograma empírico de la correlación espacial de la densidad de semillas en las parcelas (puntos), semivariograma teórico del krigeado universal de los residuos ajustado mediante el método de descomposición de la varianza (línea gris oscura) y semivarianza total incluyendo las variables ambientales introducidas en el modelo de krigeado universal (línea gris claro).

Implicaciones de los resultados

A partir de esta tesis, se ha visto cómo se organizan las especies leñosas, sus pautas y factores en la regeneración y el desarrollo de cada especie. Esta información es importante, no sólo desde el punto de vista ecológico, sino para dar información a partir de la cual se puedan desarrollar estrategias de conservación y gestión eficaces.

Agradecimientos

Esta tesis no hubiera sido posible sin la ayuda de Wilder E. Caba, tanto para medir 'palos' como para alegrarme los días en que yo ya no podía más. El reconocimiento de las especies vegetales hubiera sido un quebradero de cabeza (aún mayor) sin la ayuda de varios botánicos especializados. La tesis está financiada por la UPM, a través de una beca FPI-UPM y una ayuda del Consejo Social de la UPM.

Quiero agradecer también a mis amigos y compañeros (especialmente los sufridores aspirantes a doctores), que han aguantado mis innumerables -y prácticamente constantes- quejas a lo largo de todo este tiempo. Gracias también a Francisco I. Pugnaire y dos revisores anónimos por sus comentarios a la primera versión del manuscrito y a Carolina Puerta y Luis Cayuela por animarme a escribir este resumen de mi tesis.

Referencias

- Batista J.L.F., Maguire D.A. 1998. Modelling the spatial structure of tropical forests. *Forest Ecology and Management* 110:293-314.
- Bubb, P., May, I., Miles, L., Sayer, J., 2004. *Cloud forest Agenda*. UNEP-WCMC. Cambridge, UK.
- Burslem, D.F.R.P., Garwood, N.C., Thomas, S.C. 2001. Ecology - Tropical forest diversity - The plot thickens. *Science* 291:606-607.
- Bruijnzeel, L.A., Scatena, F.N., Hamilton, L.S. 2011. *Tropical Montane Cloud Forest. Science for Conservation and Management. International Hydrology Series*. Cambridge University Press.
- Chazdon, R.L., Pearcy, R.W., Lee, D.W., Fetcher, N. 1996. Photosynthetic responses to contrasting light environments. En: Mulkey S, Chazdon R y Smith AP (eds.). *Tropical Forest Plant Ecophysiology*. Chapman and Hall. London, UK.
- Creessie, N.A.C. 1993. *Statistics for spatial data*. Wiley and Sons.
- Foster, P. 2001. The potential negative impacts of global climate change on tropical montane cloud forests. *Earth-Science Reviews* 55(1-2):73-106.
- He, F., Legendre, P., LaFrankie, J. 1996. Spatial pattern of diversity in a tropical rain forest of Malaysia. *Journal of Biogeography* 23:57-74.
- Gentry, A.H. 1992. Tropical forest biodiversity: distributional patterns and their conservational significance. *Oikos* 63:19-28.
- Hamilton, L.S., 1995. Mountain Cloud Forest Conservation and Research: A Synopsis. *Mountain Research and Development* 15(3):259-266.
- Illian, J., Penttinen, A., Stoyan, H., Stoyan, D. 2008. *Statistical Analysis and Modelling of Spatial Point Patterns*. Wiley. Hoboken, NJ. USA.
- Law, R., Purves, D.W., Murrell, D.J., Dieckmann, U. 2001. Causes and effects of small-scale spatial structure in plant populations. En: Silvertown, J., Antonovics, J. (eds.). *Integrating ecology and evolution in a spatial context*. Blackwell Science Oxford, UK.
- Ledo, A., Burslem, D.F.R.P., Condés, S., Montes, F. (en prensa) Micro-scale habitat associations of woody plants in a Peruvian cloud forest. *Journal of Vegetation Science*. Doi: 10.1111/jvs.12023.
- Ledo, A., Montes, F., Condés, S. 2012c. Different spatial organisation strategies of woody plant species in a montane cloud forest. *Acta Oecologica* 38:49-57.
- Ledo, A., Condés, S., Montes, F. 2011. Intertype mark correlation function: A new tool for the analysis of species interactions. *Ecological Modelling* 222(3):580-587.
- Ledo, A., Montes, F., Condés, S. 2009. Species dynamics in a montane cloud forest: identifying factors involved in changes in tree diversity and functional characteristics. *Forest Ecology and Management* 258:75-84.
- Still, C.J., Foster, P.N., Schneider, S.H. 1999. Simulating the effects of climate change on tropical montane cloud forests. *Nature* 398:608-610.
- Tilman, D. 1994. Competition and Biodiversity in Spatially Structured Habitats. *Ecology* 75:2-16.

ALICIA LEDO

On the spatial distribution of woody plant species in a tropical montane cloud forest. (Tratado sobre la distribución espacial de las especies leñosas de un bosque de niebla tropical)

Tesis Doctoral

Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Universidad Politécnica de Madrid

Octubre 2012

Directores: Sonia Condés, Fernando Montes

Publicaciones resultantes de la tesis

Ledo, A., Burslem, D.F.R.P., Condés, S., Montes, F. (en prensa) Micro-scale habitat associations of woody plants in a Peruvian cloud forest. *Journal of Vegetation Science*. Doi: 10.1111/jvs.12023.

Ledo, A., Condés, S., Alberdi, I. 2012a. Forest biodiversity assessment in Peruvian Andean Montane Cloud Forest. *Journal of Mountain Science* 9:372-384.

Ledo, A., Condés, S., Montes, F. 2012b. Revisión de índices de distribución espacial usados en inventarios forestales y su aplicación en bosques tropicales. *Revista peruana de biología* 19(1):1-12.

Ledo, A., Montes, F., Condés, S. 2012c. Different spatial organisation strategies of woody plant species in a montane cloud forest. *Acta Oecologica* 38:49-57.

Ledo, A., Condés, S., Montes, F. 2011. Intertype mark correlation function: A new tool for the analysis of species interactions. *Ecological Modelling* 222(3):580-587.

Ledo, A., Montes, F., Condés, S. 2009. Species dynamics in a montane cloud forest: identifying factors involved in changes in tree diversity and functional characteristics. *Forest Ecology and Management* 258:75-84.