

CAPÍTULO 1

APROXIMACIÓN CONCEPTUAL PARA LA RESTAURACIÓN DE ECOSISTEMAS ANDINOS



**Luis Fernando Prado-Castillo¹⁻², Teresa Andrea Cárdenas-Tamayo³,
Merly Yenedith Carrillo-Fajardo²⁻⁴**

¹Maestría en Ciencias Biológicas. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

²Sistemática Biológica, Herbario UPTC, Escuela de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

³Gerencia Ambiental, Empresa Grupo de Energía de Bogotá.

⁴Biodiversidad UNICÓRDOBA. Programa de Biología, Universidad de Córdoba, Montería, Córdoba.

LA SUCESIÓN ECOLÓGICA COMO PARTE DE LOS PRINCIPIOS DE LA ECOLOGÍA EN LA RESTAURACIÓN

La sucesión ecológica es entendida como: "*patrones de cambio y reemplazamiento que ocurren dentro de los ecosistemas a lo largo del tiempo en respuesta al disturbio*" (McDonald et al., 2016). Entre los modelos que intentan explicar estos patrones, está el de Connell & Slatyer (1977), concebido a partir de interacciones bióticas y los cambios en micrositios, que estos generan, mediante tres mecanismos donde las especies pioneras: a) facilitan el establecimiento de otras especies (facilitación); b) no afectan el establecimiento de otras especies (tolerancia), y/o c) limitan el establecimiento de otras especies (inhibición). Estos, pueden actuar durante el proceso de sucesión a manera de hipótesis no excluyentes (Pickett et al., 1987).

En Rabanal y Sabanalarga, las especies de gramíneas exóticas dominaban la matriz del paisaje agrícola. En Rabanal, la especie dominante fue *Holcus lanatus* y en Sabanalarga *Brachiaria* sp. En los dos casos, una vez abandonada la actividad productiva, se observaron procesos de sucesión secundaria (van der Maarel, 1988). Por tanto, la restauración se orientó hacia la gestión de las diversas etapas sucesionales, a partir del estudio del banco de semillas (legado genético) del suelo y de los propágulos ofertados por el entorno (van Andel & Aronson, 2012).

La dominancia de gramíneas exóticas en los dos escenarios, probablemente es el resultado de la conjunción entre una introducción masiva de propágulos en un ambiente favorable (liberación de recursos con baja competencia interespecífica) y la expresión de los atributos vitales de las gramíneas (p. ej.: propagación vegetativa, densidad de raíces, alelopatía, tolerancia al ramoneo y al fuego), que limitaron las probabilidades de colonización y establecimiento de especies nativas, y puede interpretarse como una forma de operar el mecanismo de inhibición (Connell & Slatyer, 1977).

Igualmente, se observa en ambos escenarios, la existencia de matorrales abiertos de especies nativas en medio de los pastizales abandonados; evidencia de la capacidad de algunas especies de colonizar, modificar las condiciones de micrositio y establecerse en ambientes disturbados, lo que puede favorecer la colonización de otras especies con el tiempo (se observó una mayor diversidad en matorrales en comparación con pastizales densos), un ejemplo de cómo puede operar el mecanismo de facilitación (Connell & Slatyer, 1977).

Finalmente, ha sido más complejo de interpretar a partir de las observaciones en campo, cómo operaría el tercer mecanismo propuesto por Connell & Slatyer (1977): la tolerancia, donde las especies pioneras logran colonizar y establecerse sin favorecer o limitar el reclutamiento y la probabilidad de crecimiento de las especies tardías. Esto quizás haya implicado, haber observado procesos de colonización y establecimiento de especies de la estructura arbórea de los bosques, predisturbio sobre los pastizales abandonados, lo que no fue evidente durante el tiempo de ejecución del proyecto.

Para avanzar en el ajuste al modelo conceptual a partir de las coberturas observadas en el área de influencia directa de cada localidad, la identificación de ecosistemas de referencia y referencias ecológicas, y la integración del conocimiento local, se hicieron los planteamientos iniciales de cómo las expresiones de diferentes comunidades vegetales, podrían

reflejar diversos estados del ecosistema degradado y las condiciones ambientales específicas para cada localidad; con ello, diseñar modelos de trayectoria ecológica (Temperton & Hobbs, 2004), para apoyar las predicciones sobre la respuesta del sistema con y sin intervención.

En Rabanal, el planteamiento partió de la premisa de que las áreas a restaurar comprendieron históricamente coberturas forestales del tipo bosque altoandino, que una vez deforestadas, transformadas en campos de cultivo y posteriormente, pastizales para la producción pecuaria, y

abandonadas, fueron colonizadas por especies propias del páramo y subpáramo (Fig. 1). La trayectoria inicia en los pastizales abandonados y se observan diversos tipos de ensamblajes, a saber: 1) Pastizal denso de *Holcus lanatus*; 2) Comunidades de frailejones; o 3) Pajonales-frailejones. Conforme la sucesión ecológica avanza en el tiempo, en función de la oferta de recursos y propágulos (u otros factores aleatorios), se observan arbustales abiertos y aquellos más próximos a los bordes de avance de los bosques, con algunas especies forestales. Al final de la trayectoria se encuentran los bosques relictuales y secundarios.

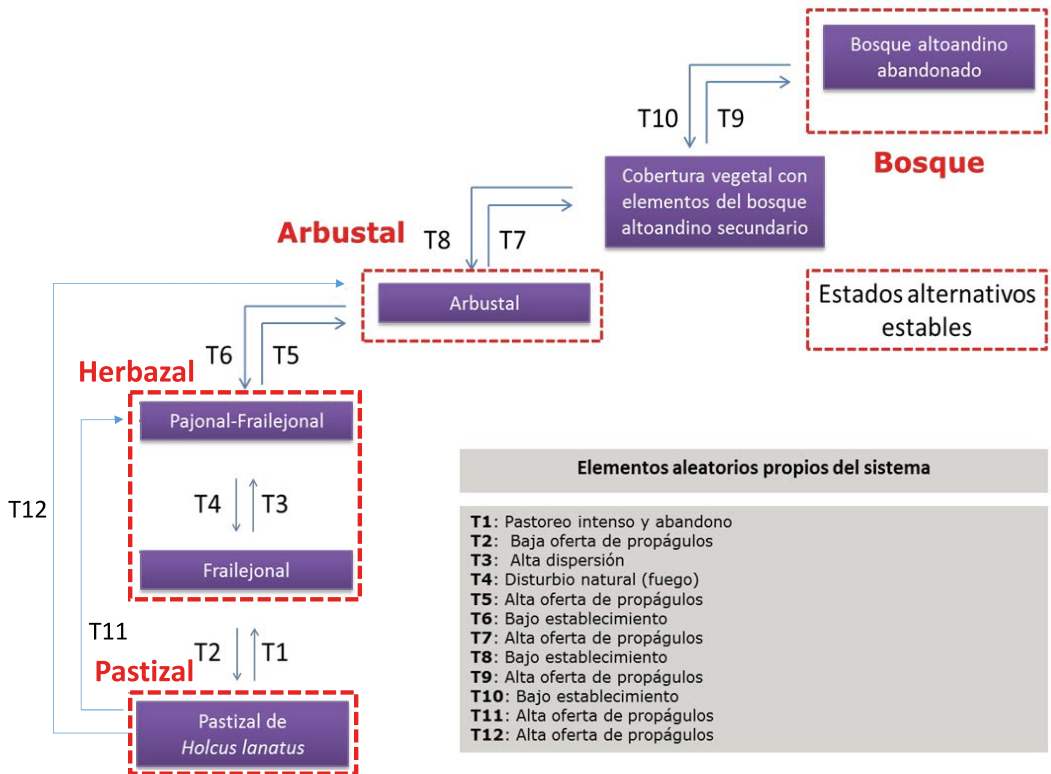


Figura 1. Modelo de trayectoria ecológica en área de influencia directa del DRMI Rabanal. Cada recuadro rojo en guion ejemplifica un estado alternativo estable dentro del cual se pueden observar diversos ensamblajes de especies y sus múltiples expresiones. Las trayectorias pueden avanzar y retornar en función de elementos aleatorios propios del sistema.

Esta misma aproximación conceptual, fue aplicada para la localidad Sabanalarga. Realizados los mismos estudios que en Rabanal, se planteó una interpretación inicial (Fig. 2) a manera de hipótesis y de cómo podrían apoyar las predicciones de trayectoria del sistema con y sin intervención.

En campo, se observó y se confirmó con la comunidad local que, una vez transformados los bosques andinos en pastizales para la ganadería y abandonados, el pastizal evoluciona hacia un matorral abierto, conformado por diversas especies nativas de hábito arbustivo y subarbustivo y heliófilas, generalmente con altas tasas de renovación de biomasa aérea y dispersadas por el viento, para

posteriormente, arribar y colonizar especies de mayor porte y dispersadas por fauna.

En la Figura 2, la trayectoria ecológica parte del pastizal de *Brachiaria* sp. (u otras gramíneas exóticas) hacia alguno de los tres tipos de ensamblajes identificados, a saber: 1) Pastizales densos de *Brachiaria* sp. (u otras gramíneas exóticas); 2) Pastizales arbolados (especies

pioneras tipo *Vismia baccifera* (L.) Triana & Planch.); o 3) Matorrales abiertos de especies nativas (p. ej.: *Clidemia* sp. y *Miconia* sp.). Una vez establecidas las coberturas 2 o 3, y en función de la oferta de recursos y propágulos (u otros factores aleatorios), se visualizan coberturas más complejas en estructura y composición, del tipo rastrojo que empiezan a presentar especies forestales propias del bosque andino, aún lejano del bosque andino, ecosistema de referencia y cobertura final en la trayectoria propuesta.

Modelo de trayectoria ecológica en áreas degradadas de la vereda Monserrate en el municipio de Sabanalarga

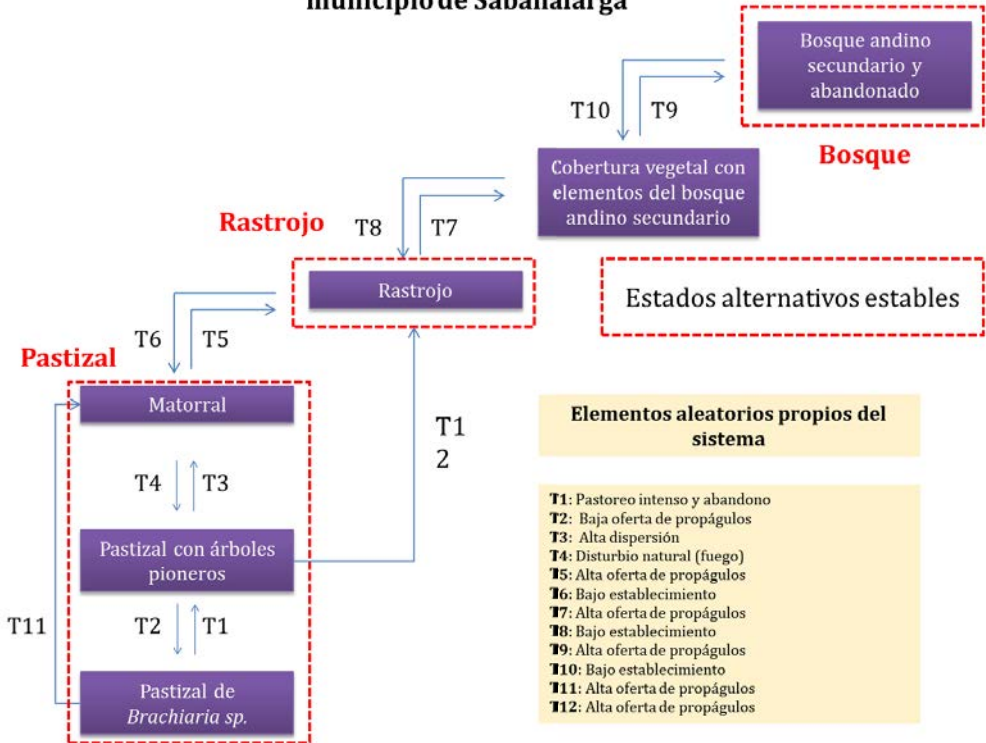


Figura 2. Modelo de trayectoria ecológica en área de influencia directa de Sabanalarga. Cada recuadro rojo en guion ejemplifica un estado alternativo estable dentro del cual se pueden observar diversos ensamblajes de especies y sus múltiples expresiones. Las trayectorias pueden avanzar y retornar en función de elementos aleatorios propios del sistema.

En las dos localidades (Rabanal y Sabanalarga), las áreas degradadas estuvieron dominadas por gramíneas exóticas, que condicionarían la sucesión ecológica al limitar el establecimiento de la vegetación nativa. Esta característica aunada al estado de conservación del entorno, el cual probablemente no ofertaba el pool de especies nativas de las comunidades vegetales previo régimen temprano de disturbios antropogénicos (< 50 años de uso), es lo que conlleva a la necesidad de restauración. Para ambos casos, sería la aproximación conceptual desde la regeneración

natural asistida, la que podría favorecer el arribo y establecimiento de especies nativas pioneras (mecanismo de facilitación, *sensu* Connell & Slatyer, 1977) y así contrarrestar los filtros ecológicos que no permiten el establecimiento de las especies en las diferentes comunidades (Hobbs & Norton, 2004).

Finalmente, en consecuencia con lo expresado por MADS (2015), sobre la necesidad de abordar la restauración desde bases experimentales, y debido a la existencia de

incertidumbre inherente a la restauración, se adoptaron los principios del manejo adaptable (Tom, 2000 en MADS, 2015), los cuales integraron la generación de conocimiento científico, la valoración del conocimiento local y el monitoreo para soportar la toma de decisiones ante posibles adaptaciones a las técnicas de restauración.

La comprensión del disturbio como herramienta para el abordaje de la restauración

Los disturbios comprenden todas las afectaciones discretas en el tiempo que modifican los atributos de la biodiversidad en un ecosistema, con consecuencias en la oferta de recursos, la condición del sustrato o el medio físico (Pickett & White, 1985; Sousa, 1984); entendida como la alteración de las condiciones ambientales y bióticas, limitando las dinámicas de regeneración natural.

El régimen de disturbio hace parte de los roles y procesos que, en un ecosistema, surgen de las interacciones entre lo biótico y lo abiótico (McDonald et al., 2016); la sucesión ecológica es la respuesta a su dinámica espacio-temporal, y su estudio genera el conocimiento para interpretar la historia de uso del territorio e identificar preliminarmente alternativas para su recuperación.

Conocer la historia y espacialización de los disturbios en un socioecosistema, genera información sobre los cambios en sus diferentes compartimentos, el nivel de degradación y su capacidad de resiliencia, aspectos fundamentales para diseñar la restauración.

La restauración ecológica: acciones concretas para avanzar en la recuperación de ecosistemas

La restauración ecológica es considerada como una estrategia de carácter interdisciplinario que articula el conocimiento científico, las ciencias sociales y económicas, con el conocimiento local, para abordar la gestión y manejo de los ecosistemas (Hobbs & Harris, 2001). Para Aronson et al. (2006) esta comprende acciones tendientes al beneficio humano en procura de restablecer los ecosistemas y la sociedad misma, y de esta manera, integrar conservación y sociedad (Fig. 3).



Figura 3. La restauración ecológica permite a la sociedad humana acercarse a su propia naturaleza y al medio natural en busca de conectores para encontrar un equilibrio ecológico.

El propósito de la restauración ecológica es, como la misma palabra lo describe: "*restablecer todos o algunos de los componentes principales de los ecosistemas degradados, dañados o destruidos*" (SER, 2004), en el cual existen diversas maneras de clasificar sus líneas de acción, en función del alcance de sus metas, por ejemplo: restaurar, rehabilitar y recuperar (Hobbs & Harris, 2001; SER, 2004; Holl & Aide, 2011). A continuación, se describen (*sensu* MADS, 2015):

- **Restauración Ecológica (*ecological restoration*):** acciones para restablecer los atributos del ecosistema degradado a una condición semejante previa al disturbio.
- **Rehabilitación (*rehabilitation*):** acciones orientadas a recuperar parcialmente los atributos del ecosistema degradado, con el enfoque en su capacidad productiva y los servicios que ofertaba previo al disturbio.
- **Recuperación (*reclamation*):** acciones dirigidas a recuperar fundamentalmente servicios ecosistémicos de interés social en ecosistemas con baja probabilidad de recuperar su integridad ecológica, sin llegar a ser autosostenibles o alcanzar condiciones predisturbio.

La decisión de adelantar una u otra línea de acción, dependerá del potencial de restauración del ecosistema, el interés particular de quienes orientan el proceso y los recursos disponibles, entre otros.

La restauración ecológica integra ciencia y sociedad (economía, cultura y política) (Prado-Castillo, 2012; Sánchez et al., 2005; Figueroa & Aronson, 2006), para que, desde un enfoque multidisciplinario (Burke & Mitchell, 2007; Gross, 2007; Aronson et al., 2006), se diseñen y ejecuten estrategias participativas de largo alcance que garanticen el éxito de cualquier iniciativa en relación a la restauración de socioecosistemas.

La nucleación como un tipo de plantación que optimiza los recursos disponibles

El establecimiento de especies nativas en áreas degradadas mediante la plantación, es una técnica de uso frecuente en la restauración para activar la sucesión ecológica y la recuperación de la cubierta vegetal. De acuerdo con Corbin & Holl (2012), la nucleación es la plantación -en pequeñas unidades espaciales- de especies nativas que funcionan como sitios focales, que, según Tres & Reis (2007) facilitan los flujos biológicos desde los fragmentos hacia las áreas en restauración y de estas hacia el paisaje, aspectos en los que:

- a) Se incrementa la riqueza y se modifican las condiciones ambientales de micrositio que previamente condicionaban la germinación y el establecimiento de nuevos propágulos (Bertness & Callaway, 1994; Castro et al., 2004; Vieira et al., 2009; Díaz-Peláez & Polanía, 2017).
- b) Se establecen nuevas especies de plantas, se forman microhábitats y se favorece el arribo de fauna (Yarranton & Morrison, 1974);
- c) Se incrementa la zoocoria, la acumulación de materia orgánica y de nutrientes en el suelo (Montagnini & Piotto, 2011), y
- d) Se reduce el estrés ambiental y se impulsa el desarrollo del banco de plántulas (Castro et al., 2004).

Para Reis et al. (2010), la nucleación implica incorporar elementos biológicos como "abióticos" que generen en las comunidades degradadas nuevas poblaciones, mediante mecanismos como la facilitación y la generación de nichos de colonización. En el contexto del proyecto, la nucleación que se hizo a través de la plantación de especies nativas (Fig. 4).



Figura 4. Algunas de las etapas para desarrollar la plantación en núcleos: **A.** Propagación; **B.** Transporte a sitio; **C.** Control de gramíneas exóticas; **D.** Plantación.

Banco de semillas germinable: el inicio de la regeneración natural

El banco de semillas germinable son todas las semillas presentes en el suelo, determina el inicio de la sucesión (Brokaw, 1986; Simpson et al., 1989) y da la estructura a la comunidad vegetal (Guevara et al., 2005; Montenegro et al., 2006; López-Toledo & Martínez-Ramos, 2011; Török et al., 2017, 2018).

La composición y abundancia del banco de semillas es la responsable de la permanencia de las especies y sus poblaciones en las comunidades y ecosistemas; por tanto, de su capacidad de regeneración natural (Luzuriaga et al., 2005; López-Toledo & Martínez-Ramos, 2011; Luo et al., 2017) (Fig. 5).



Figura 5. Procesos de aireación, limpieza y secado de muestras de suelo para el estudio del banco de semillas germinable.

El banco de semillas puede exhibir cambios ocasionados por el régimen de disturbio; su expresión está limitada por factores tales como: condiciones microambientales, depredación, modificaciones en las características fisicoquímicas del suelo y presencia de especies exóticas (Holl, 1999; Bossuyt & Hermy, 2003; Hooper et al., 2005; Zamora & Montagnini, 2007; López-Toledo & Martínez-Ramos, 2011). El proyecto estudió el banco de semillas para ampliar el conocimiento ecológico del sistema, ajustar las trayectorias ecológicas y los diseños de la nucleación.

BIBLIOGRAFÍA

- [MADS] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. 2015. Plan Nacional de Restauración: restauración ecológica, rehabilitación y recuperación de áreas disturbadas. Bogotá, Colombia.
- [SER] Society for Ecological Restoration International Science Y Policy Working Group, 2004. The SER International Primer on Ecological Restoration. www.ser.org y Tucson: Society for Ecological Restoration International.
- Aronson, J., Blignaut, J.N., Milton, S.J. & Clewell, A.F. 2006. Natural capital: the limiting factor. *Ecological Engineering*, 28: 1-5.
- Bertness, M.D. & Callaway, R. 1994. Positive interactions in communities. *Trends in Ecology and Evolution*, 5: 191-193.
- Bossuyt, B. & Hermy, M. 2003. The potential of soil seedbanks in the ecological restoration of grassland and heathland communities. *Belg. Journ. Bot.*, 136(1): 23-34.
- Brokaw, N.V. 1986. Seed dispersal, gap colonization, and the case of *Cecropia insignis*. En: *Frugivores and seed dispersal*. Estrada, A. & Fleming (eds.), T. H. Panamá, 24: 323-331.
- Burke, S.M. & Mitchell, N. 2007. People as ecological participants in ecological restoration. *Restoration Ecology*, 15: 348-350.
- Castro, J., Zamora, R., Hódar, J.A., Gómez, J.M. & Gómez, L. 2004. Benefits of using shrubs as nurse plants for reforestation in Mediterranean mountains: a 4 years study. *Restoration Ecology*, 12(3): 352-358.
- Connell, J.H. & Slatyer, R.O. 1977. Mechanisms of succession in natural communities and their role in community stability and organization. *American Naturalist*, 111: 1119-1144.
- Corbin, J.D. & Holl, K.D. 2012. Applied nucleation as a forest restoration strategy. *Forest Ecology and Management*, 265: 37-46.
- Díaz-Peláez, M. & Polanía, J. 2017. Experiencia piloto de nucleación con especies nativas para restaurar una zona degradada por ganadería en el norte de Antioquia, Colombia. *Biota Colombiana*, 18: 60-69.
- Figueroa, B.E. & Aronson, J., 2006. New linkages for protected areas: making them worth conserving and restoring. *J. Nat. Conserv.*, 14: 225-232.
- Gross, M. 2007. Restoration and the origins of ecology. *Restoration ecology*, 15(3): 375-376.
- Guevara, S., Moreno-Casasola, P. & Sánchez-Ríos, G. 2005. Soil seed banks in the tropical agricultural fields of Los Tuxtlas, Mexico. *Tropical Ecology*, 46(2): 219-227.
- Hobbs, R.J. & Harris, J.A. 2001. Restoration ecology: Repairing the Earth's ecosystems in the new millennium. *Restoration Ecology*, 9: 239-246.
- Hobbs, R.J. & Norton, D.A. 2004. Ecological filters, thresholds and gradients in resistance to ecosystem reassembly. In: *Temperton, V.M., Hobbs, R.J., Nuttle, T.J. & Halle, S. (Eds.). Assembly rules and restoration ecology - Bridging the gap between theory and practice*, Island Press, Washington, D.C. Pp: 72-95.

- Holl, K. 1999. Factors limiting tropical rain forest regeneration in abandoned pasture: seed rain, seed migration, microclimate and soil. *Biotropica*, 31: 229-242.
- Holl, K.D. & Aide, T.M. 2011. When and where to actively restore ecosystems? *Forest Ecology and Management*, 261: 1588-1563.
- Hooper, E., Legendre, P. & Condit, R. 2005. Barriers to forest regeneration of deforested and abandoned land in Panama. *Journal of Applied Ecology*, 42: 1165-1174.
- López-Toledo, L. & Martínez-Ramos, M. 2011. The soil seed bank in abandoned tropical pastures: source of regeneration or invasion? *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 82: 663-678.
- Luo, X., Cao, M., Zhang, M., Song, X., Li, J., Nakamura, A. & Kitching, R. 2017. Soil seed banks along elevational gradients in tropical, subtropical and subalpine forests in Yunnan Province, southwest China. *Plant Diversity*, 39: 273-286.
- Luzuriaga, A.L., Escudero, A., Olano, J.M. & Loidi, J. 2005. Regenerative role of seed banks following an intense soil disturbance. *Acta Oecologica*, 27: 57-66.
- McDonald, T., Jonson, J. & Dixon, K.W. 2016. National standards for the practice of ecological restoration in Australia. *Restoration Ecology*, 24: S6-S32.
- Montagnini, F. & Piotta, D. 2011. Mixed plantations of native trees on abandoned pastures: restoring productivity, ecosystem properties, and services on a humid Tropical site. En: M. Weber, *Silviculture in Tropics*, p. 501-511. Berlin: Springer.
- Montenegro, A., Ávila-Parra, Y., Mendivelso, H.A. & Vargas, O. 2006. Potencial del banco de semillas en la regeneración de la vegetación del Humedal Jaboque, Bogotá, Colombia. *Caldasia*, 28(2): 285-306.
- Pickett, S.T.A. & White, P.S. 1985. *The ecology of natural disturbance and patch dynamics*. Academic Press. San Diego, New York, Boston, London, Sydney, Tokyo and Toronto.: 3-124.
- Pickett, S.T.A., Collins, S.L & Armesto, J.J. 1987. Models, mechanisms and pathway of succession. *The Bot. Rev.*, 53(3): 335-371.
- Prado-Castillo, L.F. 2012. Plan de Restauración Ecológica del Patrimonio Natural de las Áreas Protegidas adscritas a la Dirección Territorial Andes Nororientales. Parques Nacionales Naturales de Colombia. Versión preliminar. Bucaramanga, Santander. 83 p.
- Reis, A., Campanha, B., F. & Regina-Tres, D. 2010. Nucleation in tropical ecological restoration. *Sci. Agric.*, 244-250.
- Sánchez, O., Peters, E., Márquez, R., Vega, E., Portales, G., Valdez, M. y Azuara, D. (editores). 2005. *Temas sobre restauración ecológica*. México: Instituto Nacional de Ecología (INE-Semarnat).
- Simpson, R.L., Leck, M.A. & Parker, V.T. 1989. Seed banks: General concepts and methodological issues. En: *Ecology of soil seed banks*. Academic Press, London, 3-8 p.
- Sousa, W.P. 1984. The role of disturbance in natural communities. *Annual Review of Ecological Systematics*, 15: 353-391.
- Temperton, V.M. & Hobbs, R. 2004. The search for ecological assembly rules and its relevance to restoration ecology. *Assembly rules and restoration ecology: bridging the gap between theory and practice*: 34-54.

- Török, P., Helm, A., Kiehl, K., Buisson, E., & Valkó, O. 2018. Beyond the species pool: modification of species dispersal, establishment, and assembly by habitat restoration. *Restoration ecology*, 26: S65–S72.
- Török, P., Kelemen, A., Valkó, O., Migléc, T., Tóth, K., Tóth, E., Sonkoly, J., Kiss R., Csecserits, A., Rédei, T., Deák, B., Szucs, P., Varga, N. & Tóthmérés, B. 2017. Succession in soil seed banks and its implications for restoration of calcareous sand grasslands. *Restoration Ecology*, 26: 1–7.
- Tres, D. R. & Reis, A. 2007. La nucleación como propuesta para la restauración de la conectividad del paisaje. In *II Simposio Internacional sobre restauración ecológica*.
- van Andel, J. & Aronson, J. 2012. *Restoration ecology: the new frontier*. 2nd edition. Wiley Blackwell, Oxford.
- van der Maarel, E. 1988. Floristic diversity and guild structure in the grasslands of Öland's Stara Alvar. *Acta Phytogeogr. Suec.*, 76: 53–65.
- Vieira, D., Holl, K. & Peneireiro, F. 2009. Agro-successional restoration as a strategy to facilitate tropical forest recovery. *Restoration Ecology*, 17(4): 451–459.
- Yarranton, G.A. & Morrison, R.G. 1974. Spatial dynamics of a primary succession: nucleation. *Journal of Ecology*, 62(2): 417–428.
- Zamora, C. & Montagnini, F. 2007. Seed rain and seed dispersal agents in pure and mixed plantations of native trees and abandoned pastures at La Selva Biological Station, Costa Rica. *Restoration Ecology*, 15(3): 453–461.



