

## Las funciones ecológicas de los bambúes en la recuperación de servicios ambientales y en la restauración productiva de ecosistemas

Eliane Ceccon<sup>1</sup> & Pilar A. Gómez-Ruiz<sup>2\*</sup>

1. Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias CRIM, Universidad Nacional Autónoma de México. Av. Universidad s/n, Circuito 2, Col. Chamilpa, CP. 62210, Cuernavaca, Morelos, México; ececon61@gmail.com
2. CONACyT-Universidad Autónoma del Carmen. Centro de Investigación de Ciencias Ambientales CICA. Av. Laguna de Términos s/n, Colonia Renovación 2da. Sección, CP. 24155, Ciudad del Carmen, Campeche, México; pgomez@conacyt.mx

\* Correspondencia

Recibido 15-XI-2018. Corregido 12-III-2019. Aceptado 31-V-2019.

**Abstract: Bamboos ecological functions on environmental services and productive ecosystems restoration.** This article is a bibliographic review on the ecological functions that distinguish bamboos, for which they deserve greater recognition and inclusion in ecological restoration programs. Bamboos are a highly diverse, geographically widespread and economically important plant group. Although they are more recognized by commercial uses, their potential for use in ecological restoration programs is promising, as they can be effective in delivery of several environmental services related to soil, water and carbon sequestration. Their rapid growth, along with their abilities to control erosion and maintain water at soil level, as well as provide nutrients by litterfall decomposition, make them a valuable group for recovery of degraded areas and in productive restoration of ecosystems, in particular via agroforestry systems. Agroforestry approaches can combine different bamboo species with other crops, to meet human needs while generating benefits for ecosystems. Similarly, bamboo forests or plantations together with mixed agroforestry systems can act as stepping-stones and biological corridors, in very fragmented landscapes by providing shelter and food for a wide diversity of organisms. Despite perceptions that bamboos can be invasive, evidence to support this is limited. We recommend careful evaluation of the biological characteristics of bamboo species selected, prior to deployment in productive restoration projects and for the recovery of environmental services.

**Key words:** agroforestry systems; biological corridors; carbon sequestration; ecosystem rehabilitation; fast growth; litterfall; soil erosion control.

Ceccon, E., & Gómez-Ruiz, P. A. (2019). Las funciones ecológicas de los bambúes en la recuperación de servicios ambientales y en la restauración productiva de ecosistemas. *Revista de Biología Tropical*, 67(4), 679-691.

La degradación de los ecosistemas implica la pérdida a largo plazo de funciones y productividad, por causa de disturbios de los cuales no se pueden recuperar sin asistencia humana (Bai, Dent, Olsson, & Schaepman, 2008). En las últimas décadas este deterioro se ha incrementado, sumado a los efectos del cambio climático, que están causando el decline

y extinción de algunas especies, afectando la salud y función de los ecosistemas (Bellard, Bertelsmeier, Leadley, Thuiller, & Courchamp, 2012; Martin & Watson, 2016). Bajo este panorama, la restauración de ecosistemas debe dar soluciones por medio de diferentes enfoques de acción. Históricamente, la restauración ecológica se define como una actividad

deliberada que inicia o acelera la recuperación de un ecosistema respecto a su salud, integridad y funcionalidad (Society for Ecological Restoration International Science & Policy Working Group, 2004). Sin embargo, retornar a las condiciones previas a los disturbios es casi imposible bajo el contexto ambiental actual, por lo tanto las acciones de restauración se deben enfocar más en la recuperación de funciones y sustentabilidad a futuro (Gómez-Ruiz & Lindig-Cisneros, 2017).

También es necesario incluir el componente social para que los procesos de restauración permanezcan a largo plazo, y favorezcan a las poblaciones que dependen de los servicios que los ecosistemas ofrecen. Estos servicios ambientales hacen referencia a todos los beneficios que las poblaciones humanas reciben de los ecosistemas y que tienen un impacto en su bienestar y calidad de vida (MEA, 2005). Considerando esto, es necesario adoptar conceptos de restauración de ecosistemas que involucren como meta, además de recuperar el ecosistema, el beneficio de las poblaciones locales. En este sentido, Cecon (2013) propone el concepto de “restauración productiva” que se refiere a restaurar algunos elementos de la estructura y función del ecosistema original, al mismo tiempo que se recupera la productividad de manera sustentable, utilizando principalmente técnicas agroforestales y agroecológicas, para generar beneficios económicos tangibles a las poblaciones. Bajo este contexto, aunque la restauración a nivel local está enfocada en restablecer solamente algunos elementos de la estructura y función del ecosistema, estos agroecosistemas pueden funcionar como áreas de conexión para la restauración integral del paisaje ( Uezu, Beyer, & Metzger, 2008; Chazdon et al., 2009).

Bambúes es el término vernáculo o común para los miembros de un grupo particular de gramíneas (familia Poaceae, subfamilia Bambusoideae). Son alrededor de 1681 especies en 125 géneros a nivel mundial, de las cuales 1555 son de porte leñoso y 126 herbáceas (Clark, Londoño, & Ruiz-Sánchez, 2015; Vorontsova, Clark, Dransfield, Govaerts, & Baker, 2016). La mayoría son de crecimiento

relativamente rápido (Lobovikov, Schoene, & Yping, 2012; Banik, 2015) y tienen una diversidad de formas funcionales distribuidas en un gran número de regiones biogeográficas (Bys-triakova, Kapos, & Lysenko, 2004). En zonas templadas y frías, cada culmo crece de forma individual (leptomorfos: rizoma monopodial), mientras en zonas tropicales y cálidas crecen formando grupos densos (paquimorfos: rizoma simpodial). El culmo o tallo es generalmente hueco, se caracteriza por los nodos con internodos entre ellos y emerge de las yemas del sistema de tallos subterráneos llamados rizomas. Los bambúes llamados “corredores” son aquellos en los que el rizoma monopodial se extiende horizontalmente, pero también pueden desarrollarse verticalmente para generar nuevos culmos (Kuehl, 2015).

Los bambúes pueden ofrecer un amplio número de servicios ambientales (Yuen, Fung, & Ziegler, 2017) y también se les atribuyen múltiples usos y potencial para ser empleados en proyectos de restauración (Rodríguez et al., 2010). Esto último ha sido poco abordado porque ha predominado el interés en el aspecto forestal o comercial. Sin embargo, este grupo merece un mayor reconocimiento por su papel ecológico en la dinámica de los ecosistemas donde están presentes. Considerando todo lo anterior, se pretende en este artículo, a través de la revisión de literatura mundial, resaltar algunas de las principales características y funciones ecológicas de los bambúes, que los hacen un elemento a considerar para recuperar la funcionalidad y la productividad de diversos ecosistemas.

### **Rápido crecimiento de los bambúes**

En general, los bambúes son especies que crecen rápido (Xu et al., 2011; Lobovikov et al., 2012), con una tasa de crecimiento entre 30 y 100 cm por día (Ben-zhi, Mao-yi, Jin-zhong, Xiao-sheng, & Zheng-cai, 2005; Zhou, Meng, Jiang, & Xu, 2011). Los bambúes enanos pueden alcanzar apenas hasta 10 cm de altura, pero las especies grandes pueden llegar a 15 - 20m, excluyendo a *Dendrocalamus giganteus*, la

especie más grande conocida, que puede crecer hasta 40 m de altura y 30 cm de diámetro del culmo (Scurlock, Dayton, & Hames, 2000). El sistema de rizomas puede medir hasta 100 km/ha en una plantación, penetrar hasta 60 cm y mantenerse vivo durante un siglo (Acharya, Gupta, Mishra, & Biswas, 2016).

Un crecimiento rápido puede considerarse una ventaja para usar bambúes en proyectos de restauración, principalmente en áreas muy degradadas donde se requiera generar cobertura vegetal y recuperar productividad rápidamente (Rebelo & Buckingham, 2015; FAO & INBAR, 2018). La velocidad de crecimiento permite a los bambúes leñosos generar sombra y con ello competir con otras gramíneas, que en algunos sitios actúan como barreras bióticas para la germinación y el establecimiento de especies arbóreas nativas (Holl, 1998). Los bambúes pueden colonizar y mejorar las condiciones abióticas de sitios degradados rápidamente, lo cual favorece la restauración de los ecosistemas en el corto plazo (Mishra, Giri, Panday, Kumar, & Bisht, 2014; Rebelo & Buckingham, 2015). También pueden servir como una alternativa a la explotación tradicional de maderas, porque pueden crecer y proveer el recurso “leñoso” rápidamente, lo cual ayuda a reducir la presión sobre otros ecosistemas forestales (Laestadius et al., 2011).

### **Función de los bambúes en la recuperación del suelo**

La recuperación del suelo puede lograrse por medio de diversos servicios ambientales que proveen diversas especies de bambúes, evaluadas en diferentes países a nivel mundial (Cuadro 1).

Los deslizamientos de tierra generan degradación del suelo, debido a la pérdida de la capa superficial (componente orgánico), lo cual disminuye considerablemente la productividad de la tierra y provoca su erosión. Una de las características más valiosas de los bambúes, para controlar la erosión, es su extenso y complejo sistema de raíces fibrosas conectado por un sistema de rizomas (Ben-zhi

et al., 2005), el cual retiene el suelo y previene que sea arrastrado cuando hay fuertes corrientes de agua. Cerca del 80 % de los rizomas y raíces se encuentran en la capa superior del suelo (0 - 30 cm), donde hay mayor eficiencia para controlar la erosión (Lin, Li, & Lin, 2000). Esto indica que los bambúes, principalmente leñosos, podrían ser una opción efectiva para detener estos deslizamientos en zonas susceptibles, como laderas, y reducir el impacto de las inundaciones en las márgenes de ríos o cuerpos de agua (Paudyal, 2018), al actuar como una barrera natural.

De hecho, Stern (1995) determinó que en pendientes densamente cubiertas por *Nastus chusque* en Ecuador, la deposición de hojarasca y su intrincado sistema de rizomas ayudaron en el control de la erosión, al permitir la estabilización de la pendiente. *Bambusa spinosa* y *Phyllostachys edulis* también se consideran útiles en el control de la erosión del suelo en China, por evitar la pérdida de nutrientes y mejorar la estructura del suelo (Fu, Jianghua, & Yiping, 2000). En Colombia y Venezuela se ha utilizado ampliamente *Guadua angustifolia* para la estabilización del suelo, por reducir significativamente la escorrentía superficial y el impacto de fertilizantes nitrogenados, particularmente en corredores ribereños, lo que facilitó la recuperación de tierras degradadas por la deforestación y prácticas agrícolas (Judziewicz, Clark, Londoño, & Stern, 1999; Camargo, Chará, Giraldo, Chará, & Pedraza, 2010; Chará, Giraldo-Sánchez, Chará-Serna, & Pedraza, 2010). La importancia de los bambúes al proveer este servicio ambiental es evidente, ya que en 12 de los 14 estudios evaluados (Cuadro 1) señalan su función para controlar la erosión del suelo y mejorar su estructura.

Otra característica distintiva de los bambúes es su gran aporte de biomasa. Ésta contribuye significativamente a la restauración de la productividad del suelo, porque aumenta la materia orgánica que es esencial para la disponibilidad de nutrientes (Toledo-Bruno, Marin, & Medina, 2017). La cantidad, el periodo de deposición, más el tiempo de descomposición de la hojarasca, son determinantes en todo el

CUADRO 1

Servicios ambientales que proveen algunas especies de bambúes en la recuperación del suelo

TABLE 1  
Environmental services provided by some species of bamboos in soil recovery

Especie	Servicio ambiental	País	Referencia
<i>Bambusa nutans</i> Wall. ex Munro	Prevención de la erosión	India	Eashwar, 2018
<i>Bambusa spinosa</i> Roxb.	Mejoramiento de la estructura del suelo	China	Fu et al., 2000
<i>Bambusa vulgaris</i> Schrad. ex J.C. Wendl.	Permeabilidad del suelo Aporte de materia orgánica Almacenamiento de agua Prevención de la erosión	Cuba/ India	Cairo-Cairo et al., 2017 Eashwar, 2018
<i>Chusquea culeou</i> E. Desv.	Deposición de hojarasca	Chile	Veblen et al., 1980
<i>Dendrocalamus giganteus</i> Wall. ex Munro	Prevención de la erosión	India	Eashwar, 2018
<i>Dendrocalamus strictus</i> (Roxb.) Nees	Aporte de nutrientes al suelo	India	Singh & Singh 1999; Eashwar, 2018
<i>Gigantochloa aspera</i> Schult. & Schult. f. Kurz	Deposición de hojarasca Prevención de la erosión	Filipinas/ India	Toledo-Bruno et al., 2017; Eashwar, 2018
<i>Guadua angustifolia</i> Kunth	Estabilización del suelo Regulación hídrica Ciclado de nutrientes	Colombia/ Venezuela	Judziewicz, Clark, Londoño, & Stern, 1999; Camargo, Arango, Maya, & Bueno, 2018
<i>Nastus chusque</i> Kunth	Estabilización del suelo Protección del suelo por sombra y hojarasca Prevención de la erosión	Ecuador	Stern, 1995
<i>Phyllostachys bambusoides</i> Siebold & Zucc.	Retención de suelo y Almacenamiento de agua	China	Yanxia & Yiping, 2018
<i>Phyllostachys edulis</i> (Carrière) J. Houz.	Mejoramiento de la estructura del suelo	China	Fu et al., 2000; Yanxia & Yiping, 2018
<i>Phyllostachys iridescens</i> C.Y. Yao & S.Y. Chen	Retención de suelo y Almacenamiento de agua	China	Yanxia & Yiping, 2018
<i>Phyllostachys makinoi</i> Hayata	Almacenamiento de agua	China	Huang, Liang, & Zeng, 1994

reciclaje de nutrientes y el mantenimiento de la fertilidad del suelo. Existe una gran variabilidad en la producción de biomasa, dependiendo de la especie, la edad y la ubicación geográfica; algunos estudios indican que en un año la producción de biomasa aérea puede variar desde 7.4 hasta 158.8 t/ha (Taylor & Zisheng, 1987; Veblen, Schlegel, & Escobar, 1980). El promedio de biomasa registrado en los estudios anteriores, es mucho mayor que el de dos bosques tropicales húmedos maduros de México (5.77 y

7.33 t/ha) (Sánchez & Alvarez-Sánchez, 1995). Sin embargo, producir más biomasa no implica que estas plantaciones y bosques de bambúes alberguen mayor diversidad de especies e interacciones que los bosques tropicales.

La descomposición de la hojarasca está influenciada principalmente por el ambiente físico del lugar, la naturaleza y abundancia de los organismos descomponedores, además de la calidad química del material vegetal (Tripathi et al., 2006). En los bambúes, la tasa

de descomposición de la hojarasca es relativamente lenta (Liu, Fox, & Xu, 2000), por su alto contenido de sílice, lo que permite su acumulación y la formación de un mantillo acolchado que puede ayudar para conservar la humedad del suelo, aumentar su permeabilidad, minimizar el escurrimiento superficial y la erosión, además de los aportes de nutrientes (Christanty, Mailly, & Kimmins, 1996; Camargo, Chará, et al., 2010a; Abhilash, 2016). Los nutrientes, su contenido y disponibilidad en suelo, parecen incrementar a mayor edad de las plantaciones. En un estudio de *Dendrocalamus strictus* en India, se determinó que son necesarios más de 1000 días para la descomposición del 95 % de la hojarasca, y que en plantaciones viejas (cinco años) hay 98 % más carbono y 67 % más nitrógeno en comparación con una plantación de tres años, aunque a mayor edad de las plantaciones, una mayor proporción de carbono, nitrógeno y fósforo tiende a inmovilizarse en la biomasa microbiana del suelo (Singh & Singh, 1999). Entre los estudios revisados, solamente el 20 % evaluaron los servicios de aporte de nutrientes y la deposición de hojarasca (Cuadro 1). Este es un tema importante por explorar en términos de la importancia del bambú en la restauración de suelos.

Una cierta cantidad de agua puede mantenerse en el suelo debajo de los bosques de bambúes, aunque esto varía dependiendo del tipo de especies presentes (Ben-zhi et al., 2005). El complejo sistema radical junto con la hojarasca, pueden mantener la humedad por más tiempo y hasta quince veces más que las coberturas compuestas por pastos (Chará et al., 2010). Por ejemplo, la hojarasca de *Phyllostachys makinoi* pudo retener 2.75 veces su peso seco de agua, superando a otros ocho tipos de vegetación evaluados en China (Huang, Liang, & Zeng, 1994). En épocas húmedas el almacenamiento del agua se hace en las cavidades porosas del suelo, en el sistema de rizomas y en los entrenudos del tallo, posteriormente en épocas de sequía el agua es liberada gradualmente en el suelo (Giraldo-Herrera, 2008). En el caso de *Bambusa vulgaris* en Cuba, su sistema radicular favoreció la permeabilidad

del suelo y en comparación con la leguminosa *Leucaena leucocephala* (Fabaceae), mantuvo una mayor reserva de agua en el suelo en épocas de sequía (Cairo-Cairo et al., 2017). A pesar de que solamente el 36 % de los estudios que revisamos (Cuadro 1), concluyeron que los bambúes ayudan en la retención de agua, las evidencias confirman este servicio que puede ser crítico para la dinámica hídrica en el suelo.

### **Función de los bambúes en el mantenimiento de los cuerpos de agua**

El movimiento de grandes masas de suelo para establecer cultivos, la creación de trillas por el ganado en los pastizales y el pisoteo en las márgenes desprotegidas de los ríos, liberan sedimentos que pueden alcanzar el interior de los cuerpos de agua, lo que genera su contaminación difusa (Ceccon, 2003). Además, la carga excesiva de fósforo y nitrógeno, provenientes de la fertilización de los cultivos agrícolas, puede acelerar la eutrofización de los cuerpos de agua (Conley et al., 2009). Esto puede revertirse por procesos de bio-remediación que ayuden a remover la contaminación, en particular de metales pesados. Por características como su extenso sistema radicular y tolerancia a estreses abióticos, los bambúes son especies con un alto potencial para la bio-remediación (Emamveridian, Ding, & Xie, 2018). En Estados Unidos *Arundinaria gigantea* demostró su capacidad de filtración para la desnitrificación de aguas subterráneas, al reducir el nivel de nitratos del agua hasta un 90 % en las zonas de amortiguamiento (primeros 3.3 m del margen), en comparación con un bosque ribereño donde sólo se removió el 61 % de los nitratos (Schoonover & Williard, 2003). En China determinaron que *Phyllostachys edulis* fue altamente tolerante al plomo y mantuvo su potencial de crecimiento a pesar de las concentraciones consideradas tóxicas para otras especies (< 400  $\mu\text{mol/L}$ ), y la acumulación de plomo ocurrió principalmente a nivel de raíces (Liu et al., 2015).

En China alrededor del 90 % de los bosques de bambúes se producen naturalmente en orillas de ríos, lagos y embalses, donde crecen

bien debido al suministro más uniforme y abundante de agua (Fu et al., 2000). Esto puede sustentar la utilización de especies ribereñas para controlar la dinámica de algunos ecosistemas acuáticos, como *Dendrocalamopsis oldhamii*, que fue plantado después de grandes inundaciones del río Shajiang (China) en 1998 y desde entonces la erosión del suelo ha disminuido 30 % (Wang, Innes, Dai, & He, 2008). Esto también es importante para la regulación de caudales, ya que el sistema de rizomas controla la socavación lateral y retiene el suelo, manteniendo la estructura en las orillas de los cuerpos de agua. Sumado a esto, el agua que proviene de la precipitación se infiltra y no cae directamente a estos cuerpos, lo cual evita inundaciones súbitas (Giraldo-Herrera, 2008). También en China, *Phyllostachys sulphurea* presentó una intercepción de agua a nivel de dosel de 128 mm y una capacidad de retención de agua 1.5 veces mayor, en comparación con un bosque de pinos de densidad similar que interceptó 77 mm (Wang et al., 2008).

### **Función de los bambúes en el secuestro de carbono**

El secuestro de carbono es una cualidad deseable en las plantas, principalmente para la mitigación del cambio climático (Yiping, Yanxia, Buckingham, Henley, & Guomo, 2010). Debido a su rápido crecimiento y su gran capacidad para rebrotar después de ser cosechados, los bosques de bambúes tienen un alto potencial para secuestrar carbono ( Song et al., 2011; Kuehl, 2015). Este secuestro se refiere a la fijación del CO<sub>2</sub> para transformarlo en biomasa y almacenarlo en formas de materia orgánica estables y de larga vida en el suelo, lo cual varía ampliamente entre especies y también depende de las condiciones climáticas (Zhou et al., 2011; Liu et al., 2018). Además, los bambúes pueden incrementar significativamente su productividad primaria neta o biomasa en respuesta a una atmósfera enriquecida de CO<sub>2</sub> (Lobovikov et al., 2012). Sin embargo, esto sucede principalmente en los primeros años de las plantaciones, cuando resultan más

eficientes comparadas con otros tipos de bosques. Por ejemplo, en China *Phyllostachys pubescens* tiene una fijación anual de carbono entre 9.9 y 23.3 t/ha, mayor que el promedio (7.94 t/ha) para otros tipos de vegetación nativa, como el abeto chino (*Cunninghamia lanceolata*, Cupressaceae) o pino masón (*Pinus massoniana*, Pinaceae) (Kuehl, 2015).

Un aspecto fundamental, para mantener un eficiente secuestro de carbono, es hacer un manejo intensivo, en lugar de extensivo, de las plantaciones de bambúes para obtener mayor productividad (Zhou, Wu, & Jiang, 2006), considerando la capacidad para producir una cosecha anual sin afectar la capacidad de rebrotar de los bambúes (Song et al., 2011). Esto ayuda a mantener su alta productividad primaria y, en consecuencia, un alto consumo de CO<sub>2</sub> (Song et al., 2018), ya que cuando las plantaciones llegan a la madurez y no hay un manejo, no se secuestra carbono adicional (Kuehl, 2015). Generalmente la concentración de carbono en la parte aérea es mayor en los culmos principales, seguida de las ramas y hojas. Sin embargo, los mayores almacenes de carbono se encuentran en la parte subterránea, en los suelos (Zhou et al., 2011), donde permanece almacenado en la capa de materia orgánica de 0 a 10 cm y disminuye al incrementar la profundidad (Nath, Das, & Das, 2009).

Muchas especies de bambúes son reconocidas por su potencial para el secuestro de carbono y, por consiguiente, pueden ser muy importantes para su almacenamiento en ecosistemas terrestres (Yiping et al., 2010; Yuen et al., 2017). Se han estimado almacenes de carbono (incluyendo las partes subterráneas) de *Phyllostachys pubescens* en China (106.36 t/ha), *Phyllostachys bambusoides* en Japón (165.1 t/ha) y *Dendrocalamus strictus* en India (75.4 t/ha) (Song et al., 2011; Tripathi & Singh, 1992). *Dendrocalamus latiflorus* en China puede secuestrar 3.1 t/ha de carbono en los primeros diez años, cantidad comparable a lo almacenado en plantaciones de eucalipto (Yiping et al., 2010). Sin embargo, la cantidad almacenada en una plantación conjunta de *Bambusa balcooa*, *Bambusa cacharensis* y *Bambusa vulgaris* fue

de 61.05 t/ha, menor que lo reportado para un bosque lluvioso tropical (136.67 - 202.35 t/ha) y en un bosque estacional (63.33 - 156 t/ha) (Nath et al., 2009). En una plantación de siete años de *Guadua angustifolia* en Colombia, se estimó un almacén aéreo de carbono de 76 t/ha (Camargo, Rodríguez, & Arango, 2010); en Chile de 63 t/ha para *Chusquea culeou* y 6 t/ha para *Chusquea tenuiflora* (Veblen et al., 1980).

Liese (2009) plantea que los bambúes pueden no ser mejores que los árboles en el secuestro de carbono, debido a que el culmo individual tiene una vida útil limitada de siete a diez años; tiempo después su biomasa y el carbono contenido en ella se deteriorarán, liberando de nuevo el CO<sub>2</sub> a la atmósfera. Además, considera la floración gregaria de algunas especies que, seguida de la muerte de todas las plantas de una población, puede constituir una liberación masiva de CO<sub>2</sub>. Sin embargo, el potencial para almacenar carbono puede maximizarse si la biomasa cosechada es convertida en productos durables, que pueden tener una vida útil hasta de 20 años, evitando que se libere el carbono almacenado (Kuehl, 2015). Dada la importancia de este servicio, es necesario incrementar los estudios que aporten más evidencia del verdadero potencial de los bosques y plantaciones de bambúes en el secuestro y almacenamiento de carbono, para establecer su real contribución en la mitigación del cambio climático.

### **Función de los bambúes en la restauración productiva de ecosistemas**

Las características antes mencionadas demuestran que los bambúes son una alternativa viable para recuperar servicios ambientales de los ecosistemas que se encuentran en algún nivel de degradación, particularmente a través de la restauración productiva que utiliza técnicas agroforestales y agroecológicas (Ibrahim & Camargo, 2001; Ceccon, 2013; Rebelo & Buckingham, 2015). La agroforestería con bambúes puede tener un papel significativo en el aumento de la productividad, sustentabilidad y conservación de los recursos (Tewari

et al., 2015); de este modo algunas especies pueden integrarse a un sistema agrícola con un modelo de franjas intercaladas con cultivos, especialmente en terrenos inclinados (Behari, Aggarwal, Singh, & Banerjee, 2000). Las ventajas de esta combinación, en términos agroecológicos, se han descrito previamente a nivel de suelo (Abhilash, 2016), como la descomposición de hojarasca, que aumenta la disponibilidad de nutrientes y la capacidad de intercambio catiónico del suelo (Ben-zhi et al., 2005).

Al establecer estos sistemas agroforestales con bambúes, puede haber un incremento en los servicios ambientales de polinización y control de plagas, lo que causaría una mayor sustentabilidad económica del sistema; además, la presencia de los bambúes también puede mejorar las condiciones microclimáticas y favorecer los cultivos que son más susceptibles de ser afectados por eventos climáticos adversos (Fu et al., 2000). Ashraf et al. (2018) hallaron en un sistema de palma de aceite, combinado con *Gigantochloa albociliata*, una mayor abundancia de artrópodos comparado con el monocultivo de cada especie por separado; posiblemente porque un sistema mixto puede aumentar la complejidad estructural, al ofrecer una mayor diversidad de hábitats con espacios heterogéneos para anidación o refugio y, al mismo tiempo, diferentes fuentes de recursos alimenticios y mayores oportunidades de reproducción para los organismos (Stein, Gerstner, & Kreft, 2014).

En algunos países asiáticos se utilizan los sistemas agroforestales con bambúes para recuperar tierras degradadas. Krishnankutty (2004) encontró que en huertos familiares (sistemas agroforestales multi-específicos que rodean las viviendas), *Bambusa bambos* ocupó el segundo lugar en términos de rentabilidad (relación costo-beneficio) entre los grupos de cultivos. Behari et al. (2000) desarrollaron con éxito siete modelos agroforestales con tres especies (*B. bambos*, *Bambusa nutans* y *Dendrocalamus strictus*) asociados con soya (*Glycine max*), frijol mungo (*Vigna radiata*), trigo (*Triticum aestivum*), frijol negro (*Vigna mungo*), frijol de palo (*Cajanus bicolor*) y nabo de campo

(*Brassica rapa*), entre otros. En China los sistemas agroforestales más utilizados son bambúes combinados con té, coníferas o árboles maderables, cultivos agrícolas y plantas medicinales (Fu et al., 2000). En México también se ha implementado el uso de *Bambusa oldhamii* para proveer sombra a los cafetales, usando una distancia entre plantas de 10 m (Pérez-García et al., 2009). Los anteriores ejemplos presentan evidencias de que los sistemas agroforestales pueden ser eficientes, porque existe una mínima competencia entre bambúes y cultivos (Nirala, Kumar, Ahmad, & Kumari, 2018), lo cual también depende de las especies de bambúes empleadas y las distancias de siembra; esto debe considerarse según el tipo de cultivo que se pretende establecer (Tewari et al., 2015).

### Efectos de los bambúes sobre la biodiversidad

Los bosques o plantaciones de bambúes pueden mejorar las condiciones microclimáticas por medio de la estabilización de la humedad y temperatura, lo cual proporciona un ambiente favorable para insectos, pájaros y algunos mamíferos (Abhilash, 2016). Pueden funcionar como recurso alimenticio o refugio, como el caso de *Chusquea valdiviensis* en Chile, en donde la abundancia de cinco aves del sotobosque se correlacionó positivamente con la cobertura del bambú (Reid, Diaz, Armesto, & Willson, 2004). En Myanmar, Platt et al. (2010) observaron que la especie *Melocanna baccifera*, productora de frutos grandes, proporciona hábitat y alimento a una gran diversidad de fauna. También se sabe que algunos murciélagos anidan en los tallos, y algunos roedores viven exclusivamente en rodales de bambúes (Lobovikov et al., 2012).

A nivel de paisaje, las áreas con bambúes pueden servir como puntos de conexión y corredores biológicos, entre fragmentos de remanentes de bosques, sirviendo como perchas naturales para pájaros y escondites para pequeños vertebrados (Falcý & Estades, 2007; Flores-Ramírez, & Ceccon, 2014). Los culmos secos se han utilizado para fabricar perchas

artificiales para aves y favorecer la dispersión de semillas, con el propósito de acelerar el proceso sucesional y aumentar la diversidad vegetal en el área de restauración (Athiê & Dias, 2016; Leitão, Marques, & Ceccon, 2010). Tanto polinizadores como dispersores son responsables del flujo génico de la gran mayoría de las plantas, y actúan como enlaces móviles entre áreas de restauración y áreas conservadas; debido a esto, la recuperación de estas interacciones en áreas de restauración es un factor clave para su auto-sustentabilidad (Ceccon & Varassin, 2014).

Existe la creencia de que los bambúes son especies invasoras (Buckingham et al., 2011), principalmente por su rápido crecimiento y capacidad de extensión de los rizomas. Sin embargo, esto solo se ha evidenciado en algunos casos y en ambientes particulares, como con *Guadua* sp. en Brasil (Lima, Rother, Muler, Lepsch, & Rodrigues, 2012). Lacerda & Kellermann (2017) proponen que algunos de los mecanismos de invasión están asociados a la inhibición de los procesos de sucesión en los bosques, debido a estrategias agresivas de regeneración, que detienen la sucesión por la competencia de recursos y el daño mecánico a otras especies. Los bambúes son altamente dependientes de la luz y, como resultado de la fragmentación de los ecosistemas, los cambios en la luz incidente, causados por la alteración de la estructura del dosel y el aumento de los bordes, dejan a los remanentes de bosques vulnerables a una posible invasión de los bambúes (Lima et al., 2012; Greig, Robertson, & Lacerda, 2018;). Debido al limitado número de evidencias científicas, no se puede generalizar sobre el comportamiento invasor de los bambúes. Estos procesos de invasión suceden bajo determinadas condiciones socio-ecológicas, que no necesariamente se repiten en otros ecosistemas.

Lieurance, Cooper, Young, Gordon, y Flory (2018) evaluaron el potencial invasor y riesgo de invasión de diversos bambúes, usando una herramienta de evaluación para malezas (WRA en inglés). Varias de las especies evaluadas no son nativas, pero se utilizan en la producción de

pulpa de papel y bioenergía en Estados Unidos. En este caso, *Bambusa bambos* obtuvo la calificación de mayor preocupación y los autores sugieren que en las aplicaciones de uso comercial, se usen las especies menos riesgosas. Esta advertencia también debe ser considerada para los proyectos de restauración, a fin de evitar introducir una especie con potencial invasor, que ocasione más degradación en lugar de recuperar el ecosistema, al generar un cambio impredecible en el proceso sucesional y en el restablecimiento de servicios ambientales. Otra consideración es el uso de especies nativas, porque las exóticas, aunque generen beneficios a corto plazo, pueden causar grandes daños ecológicos a largo plazo. Por ejemplo, *Bambusa vulgaris* en el sur de Chiapas (México) se reconoce por ser rentable para los pobladores locales, pero al ser una planta exótica introducida ha comenzado a desplazar a las especies locales, lo que representa una amenaza para los bambúes nativos (Rodríguez et al., 2010).

Con base en esta revisión, podemos concluir que los bambúes, por sus diversas características ecológicas, son un grupo con un gran potencial de uso, más allá del sector productivo. Muchas especies podrían emplearse en proyectos de restauración productiva y para la recuperación de varios servicios ambientales, lo cual es de gran interés en el contexto de crisis ambiental actual. Existen varias iniciativas que están promoviendo la restauración de ecosistemas (Reto de Bonn, Declaración de Bosques de Nueva York, Iniciativa 20 x 20 en Latinoamérica) y los bambúes podrían desempeñar un papel decisivo en la recuperación de áreas degradadas, con el restablecimiento de funciones, servicios y dinámicas de los ecosistemas. Es evidente que faltan estudios más detallados sobre características biológicas y ecológicas de muchas especies de bambúes, y otros más respecto a su capacidad de secuestro de carbono y su potencial invasor. Sin embargo, la evidencia que existe actualmente demuestra que este grupo es clave por las funciones ecológicas que puede proveer en diversos ecosistemas y que merece más reconocimiento del que ha recibido hasta ahora.

En la actualidad, se requieren acciones que concilien a las poblaciones humanas con su entorno, y la restauración productiva puede brindar una alternativa de uso razonable de los recursos naturales sin degradar más el ecosistema hasta un estado irreversible. Es aquí donde los bambúes pueden tener más protagonismo, como se presentó anteriormente. La restauración de ecosistemas de la actualidad debe promover la recuperación de funcionalidad y sustentabilidad, considerando los escenarios futuros, para lo cual es necesario tratar de detener o minimizar los disturbios que están afectando los ecosistemas e implementar acciones que ayuden a recuperar en corto plazo las áreas degradadas, para esto último se ha presentado evidencia de que los bambúes pueden actuar de manera eficiente y por lo tanto deben ser considerados para estos propósitos con más frecuencia.

## AGRADECIMIENTOS

Las autoras agradecen a los revisores anónimos que aportaron valiosas contribuciones para mejorar el manuscrito. E. Cecon agradece el apoyo del proyecto PAPIIT IN300119.

## RESUMEN

Este artículo es una revisión bibliográfica sobre las funciones ecológicas que caracterizan a los bambúes, por las cuales merecen un mayor reconocimiento e inclusión en los programas de restauración ecológica. Los bambúes son un grupo de plantas muy diverso, de amplia distribución geográfica y económicamente importante. Aunque son más reconocidos por los usos comerciales, su potencial de uso en programas de restauración ecológica es prometedor, ya que pueden ser eficientes en la prestación de varios servicios ambientales relacionados con el suelo, el agua y el secuestro de carbono. Su rápido crecimiento, junto con su capacidad para controlar la erosión y mantener el agua a nivel del suelo, así como para proporcionar nutrientes mediante la descomposición de la hojarasca, convierte a los bambúes en un grupo valioso para la recuperación de áreas degradadas y para la restauración productiva de ecosistemas, en particular a través de sistemas agroforestales. Los enfoques agroforestales pueden combinar diferentes especies de bambú con otros cultivos, para satisfacer las necesidades humanas y generar a la vez beneficios para los ecosistemas. De manera similar, los bosques o plantaciones

de bambúes, junto con sistemas agroforestales mixtos, pueden actuar como áreas de conexión y corredores biológicos, en paisajes muy fragmentados, proporcionando refugio y alimento para una amplia diversidad de organismos. A pesar de las percepciones de que los bambúes pueden ser invasivos, las pruebas para apoyar esto son limitadas. Recomendamos una evaluación cuidadosa de las características biológicas de las especies de bambúes seleccionadas, antes de su implementación en proyectos de restauración productiva y de recuperación de los servicios ambientales.

**Palabras clave:** control de erosión del suelo; corredores biológicos; hojarasca; rápido crecimiento; recuperación de ecosistemas; secuestro de carbono, sistemas agroforestales.

## REFERENCIAS

- Abhilash, J. (2016). Bamboo: a natural resource for mankind - an overview. *International Journal of Current Agricultural Science*, 6(7), 81-83. DOI: 10.2514/6.2009-3916
- Acharya, S. K., Gupta, M., Mishra, G. C., & Biswas, A. (2016). Bamboo: The Economy-Ecology - Sociology. In S. K. Acharya, G. Moumita, A. Biswas, & G. C. Mishra (Eds.), *Bamboo in North-East India: The Ecology, Economy and Culture* (pp. 24-60). New Delhi, India: Krishi Sanskriti Publications.
- Ashraf, M., Zulkifli, R., Sanusi, R., Tohiran, K. A., Terhem, R., Moslim, R., ... Azhar, B. (2018). Alley-cropping system can boost arthropod biodiversity and ecosystem functions in oil palm plantations. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 260, 19-26. DOI: 10.1016/j.agee.2018.03.017
- Athié, S., & Dias, M. M. (2016). Use of perches and seed dispersal by birds in an abandoned pasture in the Porto Ferreira state park, southeastern Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 76(1), 80-92. DOI: 10.1590/1519-6984.13114
- Bai, Z. G., Dent, D. L., Olsson, L., & Schaepman, M. E. (2008). Proxy global assessment of land degradation. *Soil Use and Management*, 24(3), 223-234. DOI: 10.1111/j.1475-2743.2008.00169.x
- Banik, R. (2015). Morphology and Growth. In W. Liese & M. Köhl (Eds.), *Bamboo: The plant and its uses* (pp. 43-90). New York, USA: Springer.
- Behari, B., Aggarwal, R., Singh, A. K., & Banerjee, S. K. (2000). Vegetation development in a degraded area under bamboo based agro-forestry system. *The Indian Forester*, 126(7), 710-720.
- Bellard, C., Bertelsmeier, C., Leadley, P., Thuiller, W., & Courchamp, F. (2012). Impacts of climate change on the future of biodiversity. *Ecology Letters*, 15(4), 365-377. DOI: 10.1111/j.1461-0248.2011.01736.x
- Ben-zhi, Z., Mao-yi, F., Jin-zhong, X., Xiao-sheng, Y., & Zheng-cai, L. (2005). Ecological functions of bamboo forest: Research and Application. *Journal of Forestry Research*, 16(2), 143-147. DOI: 10.1007/BF02857909
- Buckingham, K., Jepson, P., Wu, L., Rao, I. V. R., Jiang, S., Liese, W., ... Fu, M. (2011). The potential of bamboo is constrained by outmoded policy frames. *Ambio*, 40(5), 544-548. DOI: 10.1007/s13280-011-0138-4
- Bystriakova, N., Kapos, V., & Lysenko, I. (2004). *Bamboo biodiversity: Africa, Madagascar and the Americas*. DOI: 10.1111/j.1467-6346.2008.01593.x
- Cairo-Cairo, P., Yera-Yera, Y., Torres-Artiles, P., Rodríguez-Urrutia, A., Gatorno-Muñoz, S., Rodríguez-López, O., Jiménez-Carrazana, R., & Pérez, J. (2017). Impact of Bamboo (*Bambusa vulgaris* Schrader ex. Wendlan) on soil, Bayamo River subbasin, Cuba. *Revista Centro Agrícola*, 44(2), 92-94.
- Camargo, J., Arango, A., Maya, J., & Bueno, J. (2018). Latin America. In FAO & INBAR (Eds.), *Bamboo for land restoration* (pp. 55-67). Beijing, China: INBAR.
- Camargo, J., Chará, J., Giraldo, L., Chará, M., & Pedraza, G. (2010). Beneficios de los corredores ribereños de *Guadua angustifolia* en la protección de ambientes acuáticos en la Ecorregión cafetera de Colombia. 1 Efectos sobre las propiedades del suelo. *Recursos Naturales y Ambiente*, 61, 53-59.
- Camargo, J., Rodríguez, J., & Arango, A. (2010). Crecimiento y fijación de carbono en una plantación de guadua en la zona cafetera de Colombia. *Recursos Naturales y Ambiente*, 61, 86-94.
- Ceccon, E. (2003). Los bosques ribereños y la restauración y conservación de las cuencas hidrográficas. *Ciencias*, 72, 46-72.
- Ceccon, E. (2013). *Restauración en ecosistemas tropicales: Fundamentos ecológicos, prácticos y sociales*. Ciudad de México, México: UNAM-Ediciones Díaz de Santos.
- Ceccon, E., & Varassin, I. G. (2014). Plant-pollinator interactions in ecosystems restoration. In M. Benítez, O. Miramontes, & A. Valiente-Banuet (Eds.), *Frontiers in Ecology, Evolution and Complexity* (pp. 50-63). Ciudad de México, Mexico: Copit-arXives. DOI: 10.1039/c39900001550
- Chará, J., Giraldo-Sánchez, L. P., Chará-Serna, A. M., & Pedraza, G. X. (2010). Beneficios de los corredores ribereños de *Guadua angustifolia* en la protección de corredores acuáticos en la Ecorregión a Cafetera de Colombia. 2. Efectos sobre la escorrentía y captura de nutrientes. *Recursos Naturales y Ambiente*, 61, 60-66.
- Chazdon, R. L., Harvey, C. A., Komar, O., Griffith, D. M., Ferguson, B. G., Martínez-Ramos, M., ... Philpott, S. M. (2009). Beyond reserves: A research agenda

- for conserving biodiversity in human-modified tropical landscapes. *Biotropica*, 41(2), 142-153. DOI: 10.1111/j.1744-7429.2008.00471.x
- Christanty, L., Mailly, D., & Kimmins, J. P. (1996). "Without bamboo, the land dies": Biomass, litter-fall, and soil organic matter dynamics of a Javanese bamboo talun-kebun system. *Forest Ecology and Management*, 87(1-3), 75-88. DOI: 10.1016/S0378-1127(96)03834-0
- Clark, L. G., Londoño, X., & Ruiz-Sánchez, E. (2015). Bamboo Taxonomy and Habitat. In W. Liese & M. Köhl (Eds.), *Bamboo: The plant and its uses* (pp. 1-30). New York: Springer. DOI: 10.1007/978-3-319-14133-6\_1
- Conley, D. J., Paerl, H. W., Howarth, R. W., Boesch, D. F., Seitzinger, S. P., Havens, K. E., ... Likens, G. E. (2009). Controlling eutrophication: Nitrogen and Phosphorus. *Science*, 323(5917), 1014-1015. DOI: 10.1126/science.1167755
- Eashwar, K. P. (2018). India. In FAO & INBAR (Eds.), *Bamboo for land restoration* (pp. 34-39). Beijing, China: INBAR.
- Emamverdian, A., Ding, Y., & Xie, Y. (2018). Phytoremediation potential of bamboo plant in China. *Ecology, Environment and Conservation*, 24(1), 530-539.
- Falcy, M. R., & Estades, C. F. (2007). Effectiveness of corridors relative to enlargement of habitat patches. *Conservation Biology*, 21(5), 1341-1346. DOI: 10.1111/j.1523-1739.2007.00766.x
- FAO, & INBAR. (2018). *Bamboo for land restoration. INBAR Policy Synthesis Report 4*. Beijing, China. Retrieved from <https://resource.inbar.int/download/showdownload.php?lang=cn&id=167937>
- Flores-Ramírez, E., & Cecon, E. (2014). La restauración de corredores en paisajes fragmentados ¿mejora la dinámica de las especies? Evidencias experimentales. In A. S. Álvarez, & D. R. Pérez (Eds.), *Aspectos ecológicos, microbiológicos y fisiológicos de la restauración de ambientes degradados de zonas áridas. Aportes de investigaciones de Argentina, Chile, Venezuela y México* (pp. 11-24). Mendoza, Argentina: Ministerio de Educación de la Nación y CONYCEP.
- Fu, M., Jianghua, X., & Yiping, L. (2000). *Cultivation and utilization on bamboo*. Beijing: China Forestry Publishing House.
- Giraldo-Herrera, E. (2008). Bienes y servicios ambientales de la guadua en Colombia (*Guadua angustifolia* Kunth). Boletín informativo mensual No. 12 de la Red Internacional de Bambú y Ratán INBAR. Oficina Regional para América Latina y el Caribe.
- Gómez-Ruiz, P. A., & Lindig-Cisneros, R. (2017). La restauración ecológica clásica y los retos de la actualidad: La migración asistida como estrategia de adaptación al cambio climático. *Revista de Ciencias Ambientales*, 51(2), 31-51. DOI: 10.15359/rca.51-2.2
- Greig, C., Robertson, C., & Lacerda, A. E. B. (2018). Spectral-temporal modelling of bamboo-dominated forest succession in the Atlantic Forest of Southern Brazil. *Ecological Modelling*, 384, 316-332. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2018.06.028
- Holl, K. D. (1998). Do bird perching structures elevate seed rain and seedling establishment in abandoned tropical pasture? *Restoration Ecology*, 6(3), 253-261. DOI: 10.1046/j.1526-100X.1998.00638.x
- Huang, K., Liang, D., & Zeng, Z. (1994). Rhizome distribution of *Phyllostachys makinoi*. *Journal of Fujian Forestry College*, 14(3), 191-194.
- Ibrahim, M., & Camargo, J. C. (2001). Sistemas Agroflorestais Pecuários: opções de sustentabilidade para áreas tropicais e subtropicais. In M. M. Carvalho, M. J. Alvim, & J. C. Carneiro (Eds.), *Sistemas Agroflorestais Pecuários: opções de sustentabilidade para áreas tropicais e subtropicais* (pp. 331-347). Brasília, Brasil: Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento - FAO.
- Judziwicz, E., Clark, L. G., Londoño, X., & Stern, M. J. (1999). *American bamboos*. Washington D.C.: Smithsonian Institution Press.
- Krishnankutty, C. N. (2004). Benefit-cost analysis of bamboo in comparison with other crops in mixed cropping home gardens in Kerala State, India. *Journal of Bamboo and Rattan*, 3(2), 99-106. DOI: 10.1163/156915904774195106
- Kuehl, Y. (2015). Resources, Yield, and Volume of Bamboos. In W. Liese & M. Köhl (Eds.), *Bamboo: The plant and its uses* (pp. 91-112). New York: Springer. DOI: 10.1007/978-3-319-14133-6\_4
- Lacerda, A. E. B., & Kellermann, B. (2017). Bambus nativos como espécies invasoras no sul do Brasil. In P. M. Drumond & G. Wiedman (Eds.), *Bambus no Brasil: da biologia à tecnologia* (pp. 179-196). Rio de Janeiro, Brasil: Instituto Ciência Hoje.
- Laestadius, L., Maginnis, S., Minnemeyer, S., Potapov, P., Saint-Laurent, C., & Sizer, N. (2011). Mapping opportunities for forest landscape restoration. *Unasylva*, 62(2), 47-48.
- Leitão, F. H. M., Marques, M. C. M., & Cecon, E. (2010). Young restored forests increase seedling recruitment in abandoned pastures in the Southern Atlantic rainforest. *Revista de Biologia Tropical*, 58(4), 1271-1282.
- Liese, W. (2009). Bamboo as carbon sink - fact or fiction? *Journal of Bamboo and Rattan*, 8(3/4), 103-114.
- Lieurance, D., Cooper, A., Young, A. L., Gordon, D. R., & Flory, S. L. (2018). Running bamboo species pose a greater invasion risk than clumping bamboo

- species in the continental United States. *Journal for Nature Conservation*, 43, 39-45. DOI: 10.1016/j.jnc.2018.02.012
- Lima, R. A. F., Rother, D. C., Muler, A. E., Lepsch, I. F., & Rodrigues, R. R. (2012). Bamboo overabundance alters forest structure and dynamics in the Atlantic Forest hotspot. *Biological Conservation*, 147(1), 32-39. DOI: 10.1016/j.biocon.2012.01.015
- Lin, Y., Li, H., & Lin, P. (2000). Biomass structure and energy distribution of *Dendrocalamus latiflorus* population. *Journal of Bamboo Research*, 19(4), 36-41.
- Liu, D., Li, S., Islam, E., Chen, J., Wu, J., Ye, Z., ... Lu, K. (2015). Lead accumulation and tolerance of Moso bamboo (*Phyllostachys pubescens*) seedlings: applications of phytoremediation. *Journal of Zhejiang University-SCIENCE B (Biomedicine & Biotechnology)*, 16(2), 123-130. DOI: 10.1631/jzus.b1400107
- Liu, W., Fox, J. E. D., & Xu, Z. (2000). Leaf litter decomposition of canopy trees, bamboo and moss in a montane moist evergreen broad-leaved forest on Ailao Mountain, Yunnan, south-west China. *Ecological Research*, 15, 435-447. DOI: 10.1046/j.1440-1703.2000.00366.x
- Liu, Y., Zhou, G., Du, H., Berninger, F., Mao, F., Li, X., ... Xu, L. (2018). Response of carbon uptake to abiotic and biotic drivers in an intensively managed Lei bamboo forest. *Journal of Environmental Management*, 223, 713-722. DOI: 10.1016/j.jenvman.2018.06.046
- Lobovikov, M., Schoene, D., & Yping, L. (2012). Bamboo in climate change and rural livelihoods. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 17(3), 261-276. DOI: 10.1007/s11027-011-9324-8
- Martin, T. G., & Watson, J. E. M. (2016). Intact ecosystems provide best defence against climate change. *Nature Climate Change*, 6, 122-124. DOI: 10.1038/nclimate2918
- MEA. (2005). *Millenium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. DOI: 10.1196/annals.1439.003
- Mishra, G., Giri, K., Panday, S., Kumar, R., & Bisht, N. S. (2014). Bamboo: potential resource for eco-restoration of degraded lands. *Journal of Biology and Earth Sciences*, 4(2), B130-B136.
- Nath, J. A., Das, G., & Das, A. K. (2009). Above ground standing biomass and carbon storage in village bamboos in North East India. *Biomass and Bioenergy*, 33(9), 1188-1196. DOI: 10.1016/j.biombioe.2009.05.020
- Nirala, D., Kumar, J., Ahmad, M., & Kumari, P. (2018). Bamboo based agroforestry system for livelihood and ecological security in North Chhotanagpur division of Jharkhand. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, SPI*, 1996-1999.
- Paudyal, B. R. (2018). Nepal. In FAO & INBAR (Eds.), *Bamboo for land restoration* (pp. 40-50). Beijing, China: INBAR.
- Pérez-García, N., Rueda-González, M., Rojo-Martínez, G., Martínez-Ruiz, R., Ramírez-Valverde, B., & Juárez-Sánchez, J. (2009). El bambú (*Bambusa* spp.) como sistema agroforestal: una alternativa de desarrollo mediante el pago por servicios ambientales en la sierra nororiental del estado de Puebla. *Ra Ximhai*, 5(3), 335-346.
- Platt, S. G., Ko Ko, W., Myo Myo, K., Khaing, L. L., Platt, K., Maung, A., & Rainwater, T. (2010). Notes on *Melocanna baccifera* and bamboo brakes in the Rakhine Hills of western Myanmar. *Bamboo Science and Culture: The Journal of the American Bamboo Society*, 23(1), 1-12.
- Rebello, C., & Buckingham, K. (2015). Bamboo: The opportunities for forest and landscape restoration. *Unasylva*, 66(3), 91-98.
- Reid, S., Diaz, I. A., Armesto, J. J., & Willson, M. F. (2004). Importance of native bamboo for understory birds in Chilean temperate forests. *The Auk*, 121(2), 515-525. DOI: 10.1642/0004-8038(2004)121
- Rodríguez, R. M., Galicia, S. L., Sánchez, W., Gómez, M. L., Zarco, A. A. E., & Cecon, E. (2010). Usos actuales, distribución potencial y etnolingüística de los bambúes leñosos (Bambuseae) en México. In M. Pochettino, A. Ladio, & P. Arenas (Eds.), *Tradiciones & transformaciones en Etnobotánica* (pp. 355-363). CYTED - Programa Iberoamericano Ciencia y Tecnología para el Desarrollo.
- Sánchez, G., & Alvarez-Sánchez, J. (1995). Litterfall in primary and secondary tropical forests of Mexico. *Tropical Ecology*, 36(2), 191-201.
- Schoonover, J. E., & Williard, K. W. J. (2003). Ground water nitrate reduction in giant cane and forest riparian buffer zones. *Journal of the American Water Resources Association*, 39(2), 347-354. DOI: 10.1111/j.1752-1688.2003.tb04389.x
- Scurlock, J. M. O., Dayton, D. C., & Hames, B. (2000). Bamboo: An overlooked biomass resource? *Biomass and Bioenergy*, 19(4), 229-244. DOI: 10.1016/S0961-9534(00)00038-6
- Singh, A. N., & Singh, J. S. (1999). Biomass, net primary production and impact of bamboo plantation on soil redevelopment in a dry tropical region. *Forest Ecology and Management*, 119(1-3), 195-207. DOI: 10.1016/S0378-1127(98)00523-4
- Society for Ecological Restoration International Science & Policy Working Group. (2004). *The SER International Primer on Ecological Restoration*.

- Song, X., Zhou, G., Jiang, H., Yu, S., Fu, J., Li, W., ... Peng, C. (2011). Carbon sequestration by Chinese bamboo forests and their ecological benefits: assessment of potential, problems, and future challenges. *Environmental Reviews*, 19, 418-428. DOI: 10.1139/a11-015
- Song, Z., Liu, H., Strömberg, C. A. E., Wang, H., Strong, P. J., Yang, X., & Wu, Y. (2018). Contribution of forests to the carbon sink via biologically-mediated silicate weathering: A case study of China. *Science of the Total Environment*, 615, 1-8. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.09.253
- Stein, A., Gerstner, K., & Kreft, H. (2014). Environmental heterogeneity as a universal driver of species richness across taxa, biomes and spatial scales. *Ecology Letters*, 17(7), 866-880. DOI: 10.1111/ele.12277
- Stern, M. J. (1995). An inter-Andean forest relict: vegetation change on Pasochoa and Volcano, Ecuador. *Mountain Research and Development*, 15, 339-348. DOI: 10.2307/3673810
- Taylor, A. H., & Zisheng, Q. (1987). Culm dynamics and dry matter production of bamboos in the Wolong and Tangjiahe Giant Panda Reserves, Sichuan, China. *Journal of Applied Ecology*, 24(2), 419-433. DOI: 10.2307/2403884
- Tewari, S., Banik, R., Kaushal, R., Bhardwaj, D., Chaturvedi, O., & Gupta, A. (2015). *Bamboo Based Agroforestry Systems*. Dehradun, India: ENVIS Centre on Forestry.
- Toledo-Bruno, A. G., Marin, R. A., & Medina, M. A. (2017). Ecology of litterfall production of giant bamboo *Dendrocalamus asper* in a watershed area. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 3(4), 363-372. DOI: 10.22034/GJESM.2017.03.04.003
- Tripathi, S. K., & Singh, K. P. (1992). Abiotic and litter quality control during the decomposition of different plant parts in dry tropical bamboo savanna in India. *Pedobiologia*, 36(4), 241-256.
- Tripathi, S. K., Sumida, A., Shibata, H., Ono, K., Uemura, S., Kodama, Y., & Hara, T. (2006). Leaf litterfall and decomposition of different above- and below-ground parts of birch (*Betula ermanii*) trees and dwarf bamboo (*Sasa kurilensis*) shrubs in a young secondary forest in Northern Japan. *Biology and Fertility of Soils*, 43(2), 237-246. DOI: 10.1007/s00374-006-0100-y
- Uezu, A., Beyer, D. D., & Metzger, J. P. (2008). Can agroforest woodlots work as stepping stones for birds in the Atlantic forest region? *Biodiversity and Conservation*, 17(8), 1907-1922. DOI: 10.1007/s10531-008-9329-0
- Veblen, T. T., Schlegel, F. M., & Escobar, R. (1980). Dry-Matter Production of Two Species of Bamboo (*Chusquea Culeou* and *C. Tenuiflora*) in South-Central Chile. *Journal of Ecology*, 68(2), 397-404. DOI: 10.2307/2259412
- Vorontsova, M. S., Clark, L. G., Dransfield, J., Govaerts, R., & Baker, W. J. (2016). *World Checklist of Bamboos and Rattans*. Beijing, China: INBAR.
- Wang, G., Innes, J. L., Dai, S., & He, G. (2008). Achieving sustainable rural development in Southern China: the contribution of bamboo forestry. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 5, 484-495. DOI: 10.3843/susdev.15.5:9
- Xu, Y., Wong, M., Yang, J., Ye, Z., Jiang, P., & Zheng, S. (2011). Dynamics of Carbon Accumulation During the Fast Growth Period of Bamboo Plant. *The Botanical Review*, 77(3), 287-295. DOI: 10.1007/s12229-011-9070-3
- Yanxia, L., & Yiping, L. (2018). Asia. In FAO & INBAR (Eds.), *Bamboo for land restoration* (pp. 25-29). Beijing, China: INBAR.
- Yiping, L., Yanxia, L., Buckingham, K., Henley, G., & Guomo, Z. (2010). *Bamboo and Climate Change Mitigation*. Beijing, China: INBAR.
- Yuen, J. Q., Fung, T., & Ziegler, A. D. (2017). Carbon stocks in bamboo ecosystems worldwide: Estimates and uncertainties. *Forest Ecology and Management*, 393, 113-138. DOI: 10.1016/j.foreco.2017.01.017
- Zhou, G., Meng, C., Jiang, P., & Xu, Q. (2011). Review of Carbon Fixation in Bamboo Forests in China. *Botanical Review*, 77(3), 262-270. DOI: 10.1007/s12229-011-9082-z
- Zhou, G., Wu, J., & Jiang, P. (2006). Effects of different management models on carbon storage in *Phyllostachys pubescens* forests. *Journal of Beijing Forestry University*, 28(6), 51-55.