

FUNCIONES DE ESCALA PARA LAS RELACIONES RIQUEZA DE ESPECIES – ÁREA Y RIQUEZA DE TIPOS FUNCIONALES – ÁREA DE LOS CAFETALES BAJO SOMBRA Y VEGETACIÓN NATURAL DE LA SIERRA MADRE DE CHIAPAS, MÉXICO

SCALE FUNCTIONS FOR SPECIES RICHNESS-AREA AND FUNCTIONAL TYPE RICHNESS-AREA RELATIONSHIPS OF SHADE-GROWN COFFEE PLANTATIONS AND NATURAL VEGETATION IN THE SIERRA MADRE DE CHIAPAS, MEXICO

Fernando Paz^{1‡}, Víctor Salas², Cristóbal Sánchez³ y Martín A. Bolaños⁴

¹ Programa Mexicano del Carbono y Colegio de Postgraduados, Estado de México, México.

² Geoinformática, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Chihuahua, México.

³ Posgrado en Ciencias Forestales, Colegio de Postgraduados, *campus* Montecillo, Estado de México, México.

⁴ Posgrado en Hidrociencias, Colegio de Postgraduados *campus* Montecillo, Estado de México, México.

[‡] Autor para correspondencia: ferpazpel@gmail.com

RESUMEN

La diversidad vegetal asociada a los diferentes usos del suelo es una métrica de biodiversidad que puede evaluarse utilizando la riqueza de plantas vasculares (S), además de considerar la riqueza de tipos funcionales (Sg), para analizar su relación con el ambiente. El sistema de Gillison se utiliza para los tipos funcionales, dada su simplicidad operativa. En los cafetales bajo sombra y la vegetación natural permite evaluar los impactos de la epidemia de la roya del cafeto, y bajos precios del café, en el manejo de la caficultura. La región de Sierra Madre de Chiapas, México, ha sido impactada por la roya, por lo que en el 2016 el Programa Mexicano del Carbono implementó una campaña de medición en sitios de muestreo, el cual es retomado en esta investigación a través de un proyecto apoyado por el CONACYT. Se usaron muestreos anidados en parcelas circulares de diferentes dimensiones (A). Se utilizó el modelo de S-A y Sg-A, con una cinética de orden n para su parametrización, con buenos resultados ($R^2 > 0.98$). Los parámetros de los modelos S-A y Sg-A están relacionados entre sí, simplificando el proceso de estimación. La relación Sg-S establecida por la cinética resultó en buenos ajustes ($R^2 > 0.98$) al utilizar los parámetros de las relaciones S-A y Sg-A. El enfoque de modelación permite realizar estimaciones con un solo dato (A, S o A, Sg) cuando se cuenta con un dato adicional para superficies pequeñas de muestreo.

Palabras clave: cinética de orden n ; relación entre parámetros; relación Sg-S; simplificación de estimaciones; dato adicional para pequeñas áreas.

ABSTRACT

Plant diversity associated with different land uses is a biodiversity metric that can be used for the richness of vascular plants (S), in addition to considering the richness of functional types (Sg), to estimate its relationship with the environment. Gillison's system is used for the functional types, given its operational simplicity. In coffee plantations under shade and natural vegetation, it allows evaluating the impacts of the coffee rust epidemic, and low coffee prices, on the management of coffee cultivation. The Sierra Madre de Chiapas region, Mexico, has been impacted by rust, so in 2016 a sampling site program was implemented by the Mexican Carbon Program, which

is taken up in this research through a project supported by CONACYT. Using nested samples of circular plots of different dimensions (A). For the S-A and Sg-A model, an n -order kinetics was proposed for its parameterization with good results ($R^2 > 0.98$). The parameters of the S-A and Sg-A models are related to each other, simplifying the estimation process. The Sg-S relationship established by kinetics resulted in good fits ($R^2 > 0.98$) when using the S-A and Sg-A relationship parameters. The modeling approach allows estimates to be made with a single data point (A, S or A, Sg), when additional data is available for small sampling surfaces.

Keywords: *n-order kinetics; relationship between parameters; Sg-S relationship; simplification of estimates; additional data for small areas.*

INTRODUCCIÓN

La biodiversidad es un factor crítico en la sustentabilidad de los ecosistemas terrestres. Para evaluarla se pueden utilizar diversas métricas que reflejen en forma directa o indirecta su estado, particularmente en relación a una referencia y así apreciar sus cambios. La métrica de riqueza (número) de plantas vasculares (S) se ha utilizado para tal fin (NRC, 2000; Croezen *et al.*, 2011). El uso de las plantas vasculares para el desarrollo de métricas de diversidad vegetal se utiliza ampliamente por su facilidad de medición, dado que representa la mayor parte de la biomasa forestal y otros tipos de vegetación.

Considerando la respuesta de la riqueza de plantas vasculares al medio ambiente, se propuso el uso de tipos funcionales de plantas (Phillips *et al.*, 1994; Tilman *et al.*, 2002), los cuales son conjuntos de individuos con ciertas características morfológicas, fisiológicas y adaptativas comunes, que brindan una respuesta específica al ambiente, independientemente de su afinidad taxonómica (Díaz y Cabido, 2001). Los tipos funcionales de plantas plantean una respuesta relativamente similar al ambiente o tienen factores de incidencia más o menos de igual magnitud en el funcionamiento del ecosistema (Díaz y Cabido, 2001).

Existen numerosos enfoques para definir los tipos funcionales (Lavorel *et al.*, 1997; Gillison, 2013). Aunque hay diversos enfoques usados para caracterizar tipos funcionales usando atributos de las plantas vasculares, el sistema de clasificación de Gillison es útil (Gillison, 1981, 2002, 2006; Gillison y Carpenter, 1997), ya que es sencillo y práctico. En este sistema se consideran los atributos de la estructura fotosintética (tamaño e inclinación de las hojas, clorotipo y tipo de hoja) y de la estructura vascular de soporte (forma de

vida y tipo de raíz). La riqueza de tipos funcionales (Sg) de plantas vasculares plantea la evaluación de la redundancia funcional en la vegetación. La relación S/Sg está asociada a la riqueza de especies de termitas, aves y escarabajos (Gillison *et al.*, 2003, 2013; Gillison y Liswanti, 2004).

La riqueza de especies es función del área de muestreo (Rosenzweig, 1995), por lo que se requiere definir la relación funcional entre el área de muestreo (A) y la riqueza de especies (S). En el caso de la riqueza de tipos funcionales (Sg), la relación Sg-A está bien establecida (Gillison, 2002), en forma similar a la relación S-A; aunque no existe un modelo universalmente aceptable de la relación riqueza-área de los treinta modelos propuestos (Tjørve y Tjørve, 2021). Los modelos de uso más común son el potencial de Arrhenius (1921, 1923a) y el logarítmico de Gleason (1922, 1925), por lo que existe controversia sobre cual es mejor (Gleason, 1922; Arrhenius, 1923b). No obstante, en las evaluaciones empíricas, el modelo potencial ha presentado mejores resultados en los ajustes estadísticos (Williams *et al.*, 2009; Dengler, 2009; Tjørve, 2009).

La evaluación de la riqueza de especies y su dependencia del área de muestreo es importante en la caracterización de los paisajes bioculturales (Libert-Amico, 2017), entre los que destacan los cafetales bajo sombra (Moguel y Toledo, 1999). En el sureste de México es donde se presenta la mayor producción de café arábigo, siendo Chiapas el mayor productor de café (CEDRSSA, 2019), donde la región de la Sierra Madre representa el 54 % de la superficie sembrada en el estado (SAGARPA, 2019).

La cafecultura bajo sombra ha estado sujeta a presión desde el 2012 por la epidemia de la roya (Avelino *et al.* 2015; Libert-Amico *et al.*, 2016), además

de la caída de los precios del café. Estas presiones han incidido en la degradación forestal y cambios en los usos del suelo, principalmente por la reducción de la sombra y cambios de plantaciones de cafetales a milpas y potreros (Perfecto *et al.*, 2019; Libert-Amico *et al.*, 2020; Harvey *et al.*, 2021), lo que implica pérdidas en la biodiversidad que requieren ser evaluadas.

El Programa Mexicano del Carbono (PMC) implementó la campaña “Una REDD+ para salvar la sombra de la Sierra Madre de Chiapas” a partir de 2016 (Libert-Amico *et al.*, 2016), instrumentando un programa de muestreo en los diferentes tipos de cafetales bajo sombra (Moguel y Toledo, 1999) y la vegetación natural de referencia, en el contexto de análisis de los impactos causados por la epidemia de la roya. La diversidad vegetal se evaluó en forma preliminar (Sánchez-Sánchez, 2018), por lo que en este trabajo se evalúa detalladamente la relación riqueza-área, retomando la información generada en el programa de muestreo referido, dentro del proyecto “Resiliencia y estabilidad socioecológica de la cafeticultura mexicana

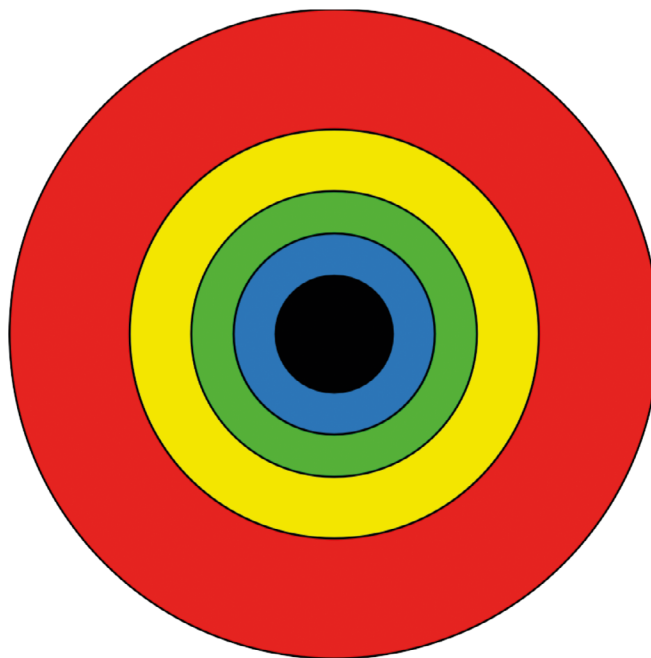
bajo sombra: hacia nuevos paradigmas” (Bolaños *et al.*, 2021), actualmente financiado por el CONACYT, y que tiene como uno de sus objetivos caracterizar los almacenes de carbono y biodiversidad de los cafetales en Sierra Madre de Chiapas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Muestreos de sitios del programa de muestreo

La parcela de medición tuvo forma circular y cubrió una superficie de 1000 m². Se conformó por cinco círculos concéntricos (Figura 1).

El círculo amarillo cubre la superficie total de la parcela (1000 m²), el radio mide 17.85 m, este círculo se usó en los inventarios de carbono y biodiversidad. El círculo verde cubre una superficie de 400 m², con un radio de 11.28 m. El círculo azul abarca un área de 200 m², con radio de 7.98 m. El círculo morado cubre una superficie de 100 m², su radio mide 5.65 m. El círculo rosa abarca un área de 12.56 m², tiene un radio de 2 m.



Parcela	Círculo					
	Radio m	17.85	11.28	7.98	5.65	2.00
	Área m ²	1000	400	200	100	12.56
Inventario	Carbono					
Carbono+	Biodiversidad					

Figura 1. Parcela de muestreo del inventario de carbono y biodiversidad.

Registro de especies

Se registraron todas las especies de plantas vasculares presentes en cada sitio de muestreo, de acuerdo con el formato de campo (PMC, 2015a y b). Se tomó registro fotográfico de todos los taxa y sólo se colectaron aquellos en floración o fructificación mediante los métodos estándar (Lot y Chiang, 1986). La identificación taxonómica de gabinete se llevó a cabo con ayuda de literatura especializada.

Se analizó la composición florística (especies, géneros y familias) de los sitios muestreados. El catálogo de especies se tomó con referencia en el sistema de clasificación taxonómica de angiospermas APG IV (2016). Para la nomenclatura de gimnospermas y pteridofitas se consultó el Proyecto de Flora Mundial Tropicos® del Herbario del Jardín Botánico de Missouri (Missouri Botanical Garden, 2016), el cual contiene las actualizaciones más recientes de la información taxonómica referente a este tipo de plantas.

Tipos funcionales de Gillison

Los desarrollos de Gillison (2002, 2006) plantean una taxonomía de tipos funcionales, la cual describe cada especie como un modelo funcional de dos componentes: su estructura fotosintética y su sistema vascular de soporte. La estructura fotosintética se caracteriza por la unidad foliar funcional más repetitiva, en función de su tamaño, inclinación, clorotipo y forma. El sistema vascular de soporte se define en función de las formas de vida y de sistemas radicales adventicios. Los atributos funcionales evaluados constan de 36 caracteres, denominados elementos funcionales (Cuadro 1), por lo que las especies y morfoespecies con la misma combinación de elementos funcionales definen un tipo funcional (Gillison, 2002; Gillison, 2006).

Cuadro 1. Atributos y elementos funcionales del sistema de clasificación de Gillison (2006) para plantas vasculares.

Componentes del modelo funcional	Atributos funcionales	Elementos funcionales	Descripción
Cubierta fotosintética	Tamaño foliar	<i>nr</i>	Unidad foliar no repetida
		<i>pi</i>	Picófila (< 0.2 cm)
		<i>le</i>	Leptófila (0.2-0.8 cm)
		<i>na</i>	Nanófila (0.8-2.5 cm)
		<i>mi</i>	Micrófila (2.5-7.5 cm)
		<i>no</i>	Notófila (7.5-12.5 cm)
		<i>me</i>	Mesófila (12.5-25 cm)
		<i>pl</i>	Platífila (25-36 cm)
		<i>ma</i>	Macrófila (36- 83 cm)
		<i>mg</i>	Megáfila (> 83 cm)
	Inclinación foliar	<i>ve</i>	Vertical (> 30° por encima de la horizontal)
		<i>la</i>	Lateral (± 30° a la horizontal)
		<i>pe</i>	Pendular (> 30° por debajo de la horizontal)
		<i>co</i>	Compuesta

Cuadro 1. Atributos y elementos funcionales del sistema de clasificación de Gillison (2006) para plantas vasculares (Continuación).

Componentes del modelo funcional	Atributos funcionales	Elementos funcionales	Descripción
Cubierta fotosintética	Clorotipo foliar	<i>do</i>	Dorsoventral
		<i>is</i>	Isobilateral o isocéntrico
		<i>de</i>	Caducifolio
		<i>ct</i>	Córtico (tallo fotosintético)
		<i>ac</i>	Aclorófilo (sin clorofila)
	Morfotipo foliar	<i>ro</i>	Roseta
		<i>so</i>	Sólido tridimensional
		<i>su</i>	Suculento
		<i>pv</i>	Nervadura paralela
		<i>fi</i>	Filicoide (helechos)
Estructura vascular de soporte	Forma de vida	<i>ca</i>	Insectívoro
		<i>ph</i>	Fanerofita
		<i>ch</i>	Caméfito
		<i>hc</i>	Hemicriptófita
		<i>cr</i>	Criptófita
	Tipo de raíz	<i>th</i>	Terófita
		<i>li</i>	Lianoide
		<i>ad</i>	Adventicia (e.g. contrafuertes)
		<i>ae</i>	Aérea (e.g. neumatóforos)
		<i>ep</i>	Epifítica (e.g. <i>Tillandsia</i> spp.)
	<i>hy</i>	Hidrofítica (e.g. <i>Nymphaea</i> spp.)	
	<i>pa</i>	Parasítica (e.g. <i>Cuscuta</i> spp.)	

Modelos riqueza – área

Entre los principales modelos de la relación riqueza-área se encuentra el modelo potencial (Arrhenius, 1921, 1923a):

$$S = cA^z \tag{1}$$

$$Sg = c_g A^{z_g} \tag{2}$$

y el modelo logarítmico (Gleason, 1922, 1925):

$$S = c + z \ln(A) \tag{3}$$

$$Sg = c_g + z_g \ln(A) \tag{4}$$

Cinética de orden n de la relación riqueza – área

He y Legrende (1996) propusieron una cinética definida por:

$$\frac{dS}{dA} = \frac{f(S)}{A} \tag{5}$$

con $f(S) = \alpha + \beta S + \gamma S^2 + o(S^3)$, donde el cuarto término representa el resto de la expansión de la serie de Taylor alrededor de $S = 0$ para $f(S)$. El modelo logarítmico se genera de $f(S) = \alpha$, el modelo potencial de $f(S) = \alpha + \beta S$ y el modelo de Archibald (1949) de $f(S) = \alpha + \beta S + \gamma S^2$.

Un modelo alternativo propuesto para $f(S)$ está dado por:

$$\frac{dS}{dA} = \frac{k_n S^n}{A} \tag{6}$$

donde k_n es una tasa de cambio y n es el orden de la cinética, cuya solución general, $n \neq 1$, está dada por:

$$S = \{ [S_0^{1-n} - k_n(1-n) \ln \ln(A_0)] + k_n(1-n) \ln(A) \}^{\frac{1}{1-n}} \tag{7}$$

Para el caso $n = 0$, la solución de la relación (6) está dada por:

$$S = [S_0 - k_0 \ln(A_0)] + k_0 \ln(A) \tag{8}$$

que es el modelo logarítmico.

Para el caso $n = 1$, la solución de la relación (6) está dada por:

$$S = \left(\frac{S_0}{A_0^{k_1}} \right) A^{k_1} \tag{9}$$

que es el modelo potencial.

Para el caso de la relación S-Sg, ambas con soluciones definidas por la relación (7) para S-A y Sg-A (parámetros S_{0g} , A_{0g} , k_{ng} y n_g), que al igualarlas se obtiene:

$$S = (a + bSg^d)^e \tag{10}$$

con:

$$a = S_0^{1-n} - k_n(1-n) \ln(A_0) - \left[\frac{k_n(1-n)}{k_{ng}(1-n_g)} \right] S_{0g}^{1-n_g} + k_n(1-n) \ln(A_{0g}) \tag{11}$$

$$b = \left[\frac{k_n(1-n)}{k_{ng}(1-n_g)} \right] \tag{12}$$

$$d = 1 - n_g \tag{13}$$

$$e = \frac{1}{1-n} \tag{14}$$

Localización de sitios de muestreo en Sierra Madre de Chiapas

El programa de muestreo en los cafetales y vegetación natural en la Sierra Madre de Chiapas se llevó a cabo durante el año 2016. Inicialmente se propusieron 82 sitios (PMC), con 29 de ellos asociados a parcelas de muestreo para la vigilancia epidemiológica de la roya del café del Programa de Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria en el Cultivo del Café por el Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA). La Figura 1 muestra la distribución de los sitios de muestreo del PMC y SENASICA.

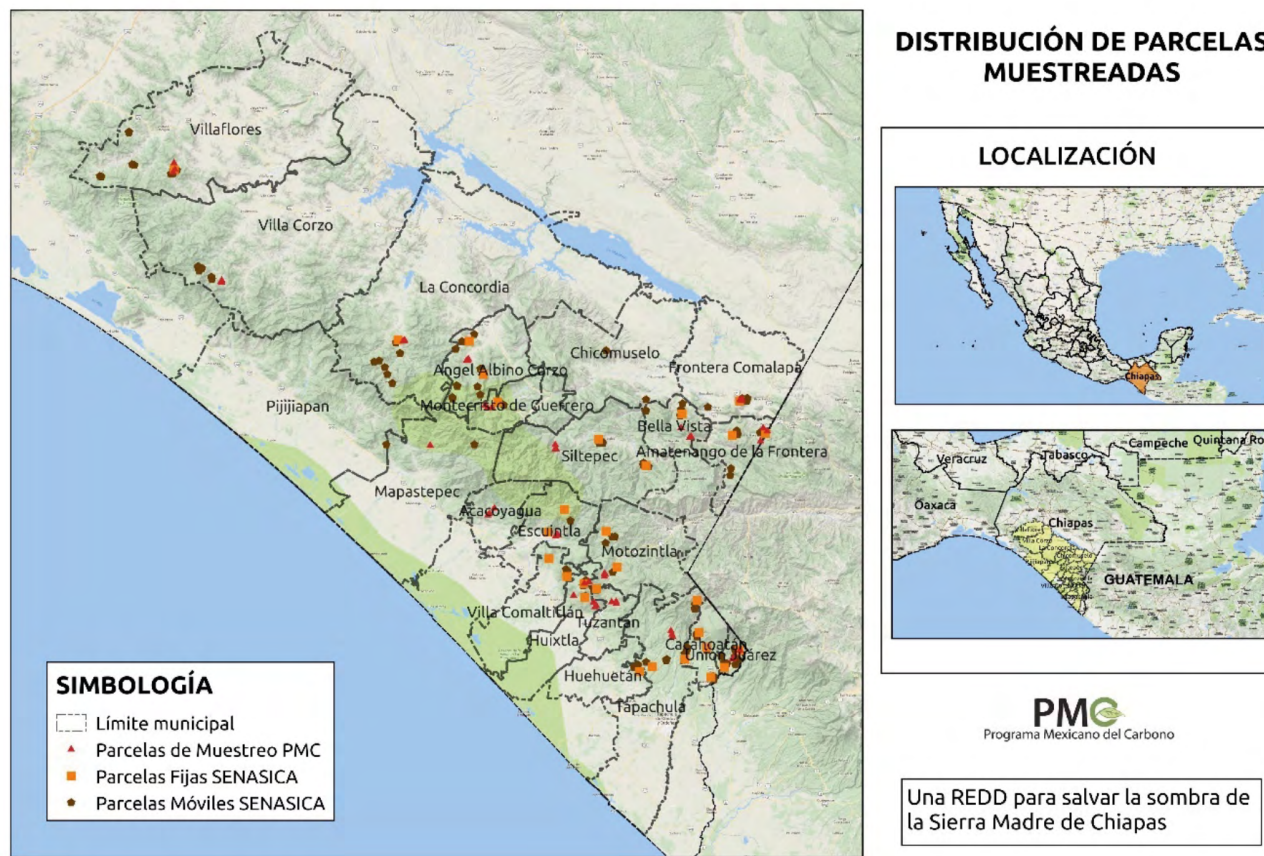


Figura 2. Distribución de los sitios de muestreo del PMC y SENASICA.

El programa de muestreo de almacenes de carbono y diversidad vegetal del PMC se orientó a evaluar los efectos de la roya en el manejo de los cafetales. Después de revisar la consistencia de los 82 sitios de muestreos permitió una selección final de 72 sitios, el resto no fue considerado en los análisis.

RESULTADOS

El ajuste estadístico del modelo S-A de la cinética de orden n (Ecuación 7), en la Figura 3 se muestran los resultados obtenidos de las estimaciones, realizadas minimizando el error cuadrático de estimación en un proceso no lineal.

Para el caso de Sg-A, mismo proceso de estimación que S-A, en la Figura 4 se muestran los resultados obtenidos del proceso de estimación no lineal.

En el caso S-A y Sg-A se obtuvieron ajustes estadísticos buenos ($R^2 > 0.98$), por lo que se considera que el modelo de cinética de orden n es adecuado para realizar estimaciones.

Para construir las relaciones mostradas en las Figuras 3 y 4 se utilizaron todos los datos de los cafetales bajo sombra y vegetación natural para S-A, no se utilizaron datos de seis sitios, dado que el ajuste no convergió hacia valores positivos de n .

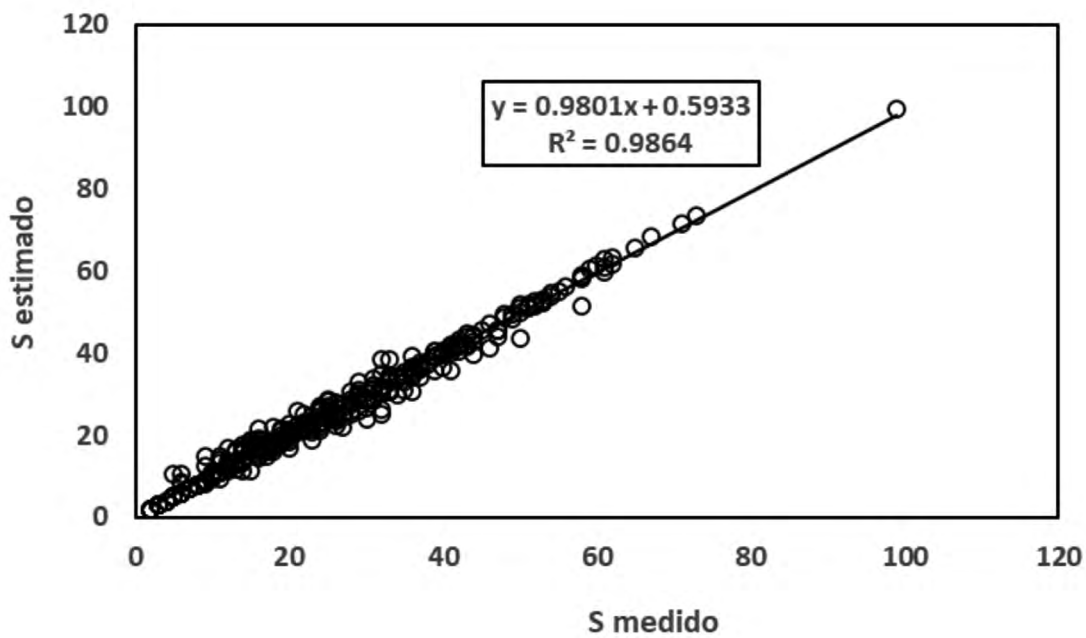


Figura 3. Resultados del ajuste de la cinética de orden n para S-A.

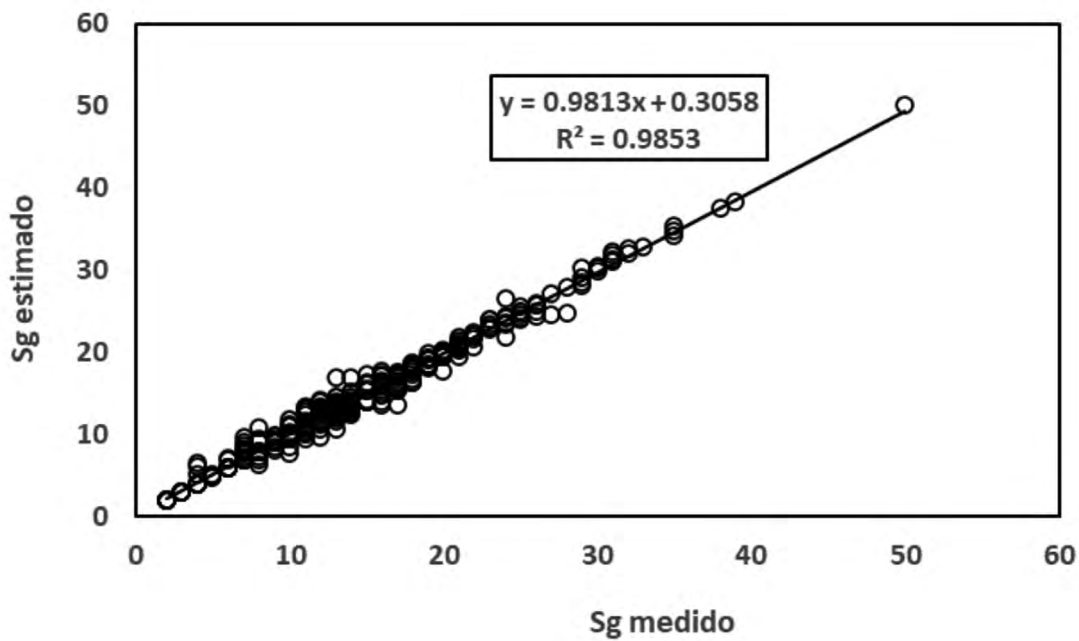


Figura 4. Resultados del ajuste de la cinética de orden n para Sg-A.

La relación entre los parámetros k_n-n y $k_{ng}-ng$ se muestra en las Figuras 5 y 6, en las que se observa que los resultados son buenos ($R^2 > 0.95$). Para el

caso de Sg no se utilizaron los datos de seis sitios de muestreo, aunque se pueden aproximar para valores de n positivos.

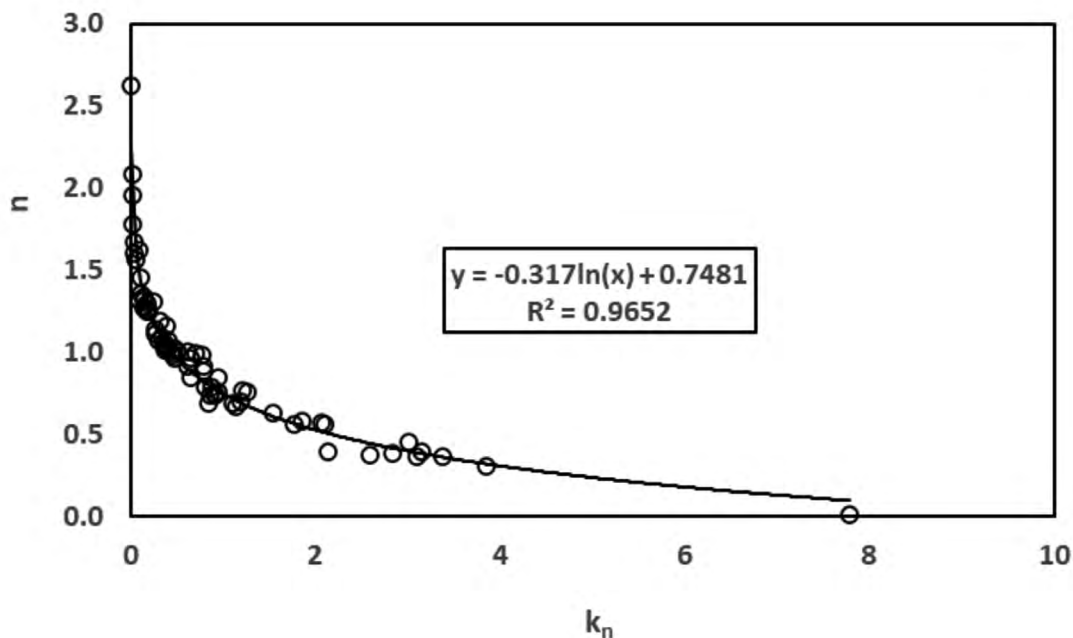


Figura 5. Parámetros de la cinética de orden n de la relación S-A.

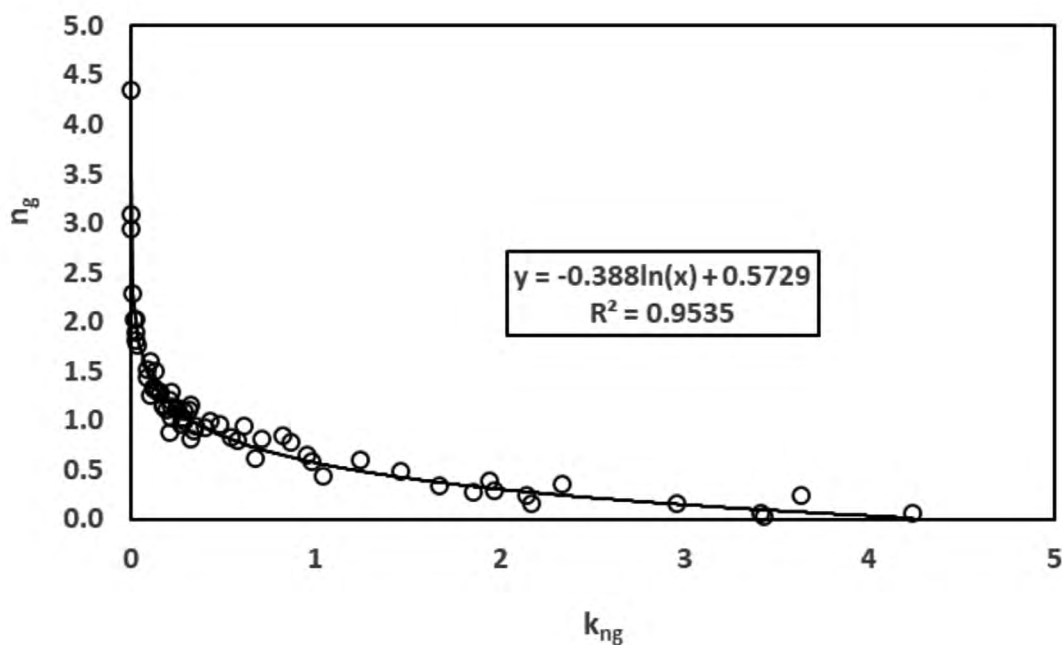


Figura 6. Parámetros de la cinética de orden n de la relación Sg-A.

Finalmente, para la relación Sg-S (Ecuación 10), con el uso de los parámetros estimados de los ajustes de S-A y Sg-A (Ecuaciones 11 a 14), los resultados se

muestran en la Figura 7, en la que se aprecia que los resultados obtenidos son buenos ($R^2 > 0.98$).

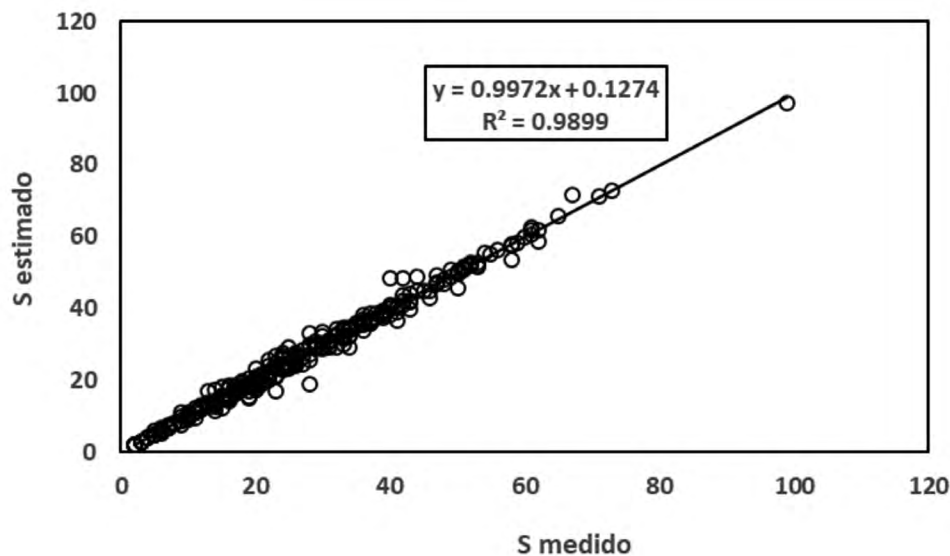


Figura 7. Resultados de la relación Sg-S utilizando parámetros definidos de las relaciones S-A y Sg-A.

DISCUSIÓN

Para analizar la flexibilidad del modelo de cinética de orden n , en lo siguiente se presenta un ejemplo de ajustes empíricos con el uso de datos de Gleason (1922). En la Figura 8 se muestran los ajustes estadísticos del ejemplo, en la que se observa el ajuste del modelo para $n \neq 1$. En los casos de los modelos logarítmico

y potencial ($n = 1$) se observan malos ajustes para valores grandes de A , por lo que la propuesta modificada de He y Legendre (1996) para dS/dA es lo suficientemente flexible para ajustarse, para analizar los casos donde los modelos logarítmico y potencial sobre o subestiman. De esta manera, es suficiente el ajuste de la cinética de orden n para evaluar los modelos potencial y logarítmico alternativos.

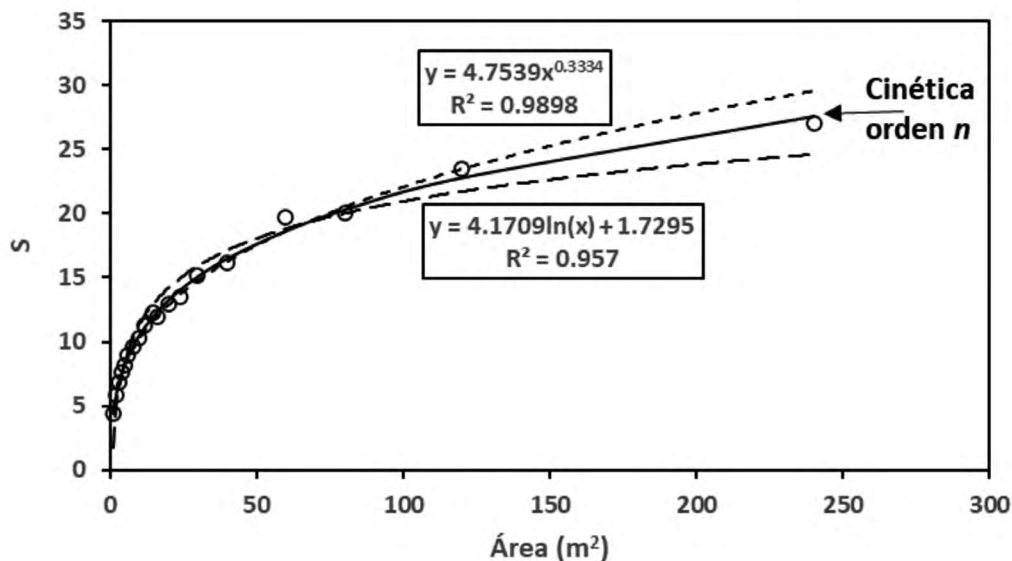


Figura 8. Ajuste del modelo de cinética de orden n a los datos de Gleason (1922).

La ventaja del modelo de cinética de orden n es que, dada la relación de sus parámetros, es posible caracterizarlo con solo un dato (A , S o A , Sg), lo cual simplifica el proceso de estimación.

Los ajustes estadísticos del modelo de cinética de orden n para S - A y Sg - A utilizaron los valores del primer punto de medición, para definir los valores los parámetros: A_0 , S_0 y Ag_0 y Sg_0 , lo que implica la necesidad de contar con un dato adicional en una pequeña área (e.g. 12.56 m²), tarea relativamente simple de ejecutar.

CONCLUSIONES

Las relaciones entre los parámetros de S - A y Sg - A del modelo de cinética de orden n permiten simplificar el proceso de estimación de un solo dato (A , S o A , Sg). Esto requiere contar con un dato de áreas pequeñas, el cual puede obtenerse fácilmente.

El modelo propuesto, y su parametrización, permite establecer un área A cualquiera de referencia para todas las relaciones, estandarizando las estimaciones de diversidad vegetal.

RECONOCIMIENTO

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo a través del FORDECYT-PRONACES para realizar este trabajo mediante el financiamiento al proyecto 319069 “Resiliencia y estabilidad socioecológica de la cafecultura mexicana bajo sombra: hacia nuevos paradigmas”

LITERATURA CITADA

APG IV. 2016. An update of the angiosperm phylogeny group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. *Botanical Journal of the Linnean Society*. 181: 1-20.

Archibald, E. E. A. 1949. The Specific Character of Plant Communities: II. A Quantitative Approach. *Journal of Ecology* 37:274-288.

Arrhenius, O. 1921. Species and Area. *Journal of Ecology* 9:95-99.

Arrhenius, O. 1923a. Statistical Investigations in the Constitution of Plant Associations. *Ecology* 4:68-73.

Arrhenius, O. 1923b. On the relation between species and area: a reply. *Ecology* 4:90-91.

Avelino, J., M. Cristancho, S. Georgiou, P. Imbach, L. Aguilar, G. Bornemann, P. Läderach, F. Anzueto, A. J. Hruska and C.

Morales. 2015. The coffee rust crises in Colombia and Central America (2008-2013): impacts, plausible causes and proposed solutions. *Food Sec.* 7:303-321.

Bolaños-González, M. A., A. Libert-Amico, F. Paz-Pellat, V. Salas-Aguilar, G. Villalobos-Sánchez, E. Escamilla-Prado, A. S. Velázquez-Rodríguez y E. I. Morales-Reyes. 2021. Resiliencia y estabilidad socioecológica de la cafecultura mexicana bajo sombra: hacia nuevos paradigmas. pp. 633-638. En: J. M. Hernández, M. Manzano, M. Bolaños y P. Ibarra (eds.). *Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2021*. Texcoco, Estado de México, México.

CEDRSSA. 2019. Propuestas para reactivar la producción y comercialización de café en México 2019-2024. Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria, Cámara de Diputados - LXIV Legislatura 19 p.

Croezen, H., Bergsma, G., Clemens, A., Sevensteen, M., and B. Tulleners. (2011). Biodiversity and land use- A search for suitable indicators for policy use. CE Delft, Delft. https://ce.nl/wp-content/uploads/2021/03/8250_finalreportHCEV.pdf.

Dengler, J. 2009. Which function describes the species-area relationship best? A review and empirical evaluation. *Journal of Biogeography* 36:728-744.

Díaz, S. and Cabido, M. 2001. Vive la difference: Plant functional diversity matters to ecosystem processes. *Trends in Ecology and Evolution* 16:646-655.

Gillison, A. N. 1981. Towards a functional vegetation classification. pp. 30-41. In: A. N. Gillison, and D.J. Anderson (eds). *Vegetation Classification in Australia*. CSIRO and Australian National University Press. Canberra, Australia.

Gillison, A. 2002. A Generic, Computer-assisted Method for Rapid Vegetation Classification and Survey: Tropical and Temperate Case Studies. *Conservation Ecology* 6:3.

Gillison A. 2006. A field manual for rapid vegetation classification and survey for general purposes. Jakarta, Indonesia: Center for International Forestry Research. <http://www.cifor.org/publications/pdf_files/vegclass/vegman2006.pdf> (Acceso en mayo, 2021).

Gillison, A. N. 2013. Plant functional type and traits at the community, ecosystem and world level. pp. 347-386. In: E. van der Marrel and J. Franklin (eds.) *Vegetation Ecology*. Second Edition. Wiley-Blackwell, Chichester, UK.

Gillison A.N., D. E. Bignell, K. R. W. Brewer, E. C. M. Fernandes, D. T. Jones, D. Sheiz, P. H. May, A. D. Watt, R. Constantino, E. G. Couto, K- Hairiah, P. Jepson, A. P. Kartono, I. Maryauto, G. G. Neto, M. van Noordwisk, E. A. Silveira, F. X. Susilo, S. A. Vosti, and P. C. Nunes. 2013. Plant functional types and traits as biodiversity indicators for tropical forests: two biogeographically separated case studies including birds, mammals and termites. *Biodiversity and Conservation* 22:1909-1930.

- Gillison, A. N. and G. Carpenter. 1997. A generic plant functional attribute set and grammar for dynamic vegetation description and analysis. *Functional Ecology* 11:775–783.
- Gillison, A. N., D. T Jones, F. X. Susilo and D. E. Bignell. 2003. Vegetation indicates diversity of soil macroinvertebrates: a case study with termites along land-use intensification gradient in lowland Sumatra. *Organisms Diversity and Evolution* 3:111–126.
- Gillison, A. N. and N. Liswanti. 2004. Assessing biodiversity at landscape level in northern Thailand and Sumatra (Indonesia): the importance of environmental context. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 104:75–86.
- Gleason, H. A. 1922. On the Relation Between Species and Area. *Ecology* 3:158–162.
- Gleason, H. A. 1925. Species and Area. *Ecology* 6:66–74.
- Harvey, C. A., A. A. Pritts, M. J. Zwetsloot, K. Jansen, M. M. Pullleman, I. Armbrrecht, J. Avelino, J. F. Barrera, C. Bunn, J. Hoyos García, C. Isaza, J. Munoz-Ucros, C. J. Pérez-Alemán, E. Rahn, V. Robiglio, E. Somarriba and V. Valencia. 2021. Transformation of coffee-growing landscapes across Latin America. A Review. *Agronomy for Sustainable Development*. doi:10.1007/s13593-021-00712-0.
- He, F. and Legendre, P. 1996. On Species-Area Relations. *The American Naturalist* 148:719–737.
- Lavorel, S., S. McIntyre, J. Landeberg and T. D. A. Forbes. 1997. Plant functional classifications: from general groups to specific groups based on response to disturbance. *Trends Ecol. Evol.* 12:474–478.
- Libert-Amico, A. 2017. Paisajes bioculturales ante el cambio climático: carbono y agrobiodiversidad en cafetales bajo sombra en Chiapas. pp. 94-99. En: F. Paz, R. Torres y A. Velázquez (eds.). *Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2017*. Texcoco, Estado de México, México.
- Libert-Amico, A., C. Ituarte-Lima and T. Elmqvist. 2020. Learning from social-ecological crisis for legal resilience building: multi-scale dynamics in the coffee rust epidemic. *Sustainability Science* 15:485-501.
- Libert-Amico, A., J.C. Wong-González y F. Paz-Pellat. 2016. Impacto de la roya del café en los almacenes de carbono en la Sierra Madre de Chiapas. pp. 219-225. En: F. Paz y R. Torres (eds.). *Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2016*. Texcoco, Estado de México, México.
- Lot, A y F. Chiang. (Comp.). 1986. *Manual de herbario: Administración y manejo de colecciones, técnicas de recolección y preparación de ejemplares botánicos*. Consejo Nacional de Flora de México. D.F., México 122 p.
- Missouri Botanical Garden. 2018. Herbario virtual del Jardín Botánico de Missouri. Disponible en: <http://www.tropicos.org> (Acceso en septiembre de 2017).
- Moguel, P. and V.M. Toledo. 1999. Biodiversity conservation in traditional coffee systems of Mexico. *Conservation Biology* 13:11-21.
- NRC. 2000. *Ecological indicators for the National Committee to Evaluate Indicators for Monitoring Aquatic and Terrestrial Environments*, Board on Environmental Studies and Toxicology, Water Science and Technology Board, Commission on Geosciences, Environment, and Resources. National Research Council. National Academy Press, Washington, D.C. 180 p.
- Perfecto, I., M. E. Jiménez-Soto and J. Vandermeer. 2019. Coffee landscapes shaping the Anthropocene, forced simplification on a complex agroecological landscape. *Current Anthropology*. doi: 10.1086/703413
- Phillips, O. L., A. H. Gentry, P. Hail, S.A. Sawyer and R. Vazquez. 1994. Dynamics and species richness of tropical rain forests. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA* 91:2805-2809.
- PMC. 2015a. *Manual de procedimientos inventario cuantitativo de carbono+. Estudio de factibilidad Técnica para el pago de bonos de carbono en el Estado de México (RETUS con BASES EDOMEX)*. Coordinación: Fernando Paz, Colaboradores: Fabiola Rojas-García, Julio Cesar Wong y José Ignacio Pulido Ponce. Texcoco, Estado de México, México 69 p. <http://pmcarbono.org/pmc/publicaciones/manuales.php>.
- PMC. 2015b. *Una REDD para salvar la sombra de la Sierra Madre de Chiapas. Manual de Procedimientos Inventario de Biodiversidad*. Coordinador: Fernando Paz Pellat. Colaboradores: Antoine Libert Amico, Julio César Wong González y Cristóbal Daniel Sánchez-Sánchez. Texcoco, Estado de México. 77 p. Disponible en: http://pmcarbono.org/pmc/descargas/proyectos/redd/MANUAL_Inventario_de_Biodiversidad_1.0_Cafetales.pdf.
- Rosenzweig, M. 1995. *Species Diversity in Space and Time*. Cambridge: Cambridge University Press doi:10.1017/CBO9780511623387.
- SAGARPA. 2017. *Cierre de la Producción Agrícola*. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, México: SAGARPA. Recuperado de <http://infosiap.siap.gob.mx> (Acceso en diciembre de 2017).
- Sánchez-Sánchez, C. D. 2018. Biodiversidad y cobertura aérea en cafetales bajo distinto manejo en la Sierra Madre de Chiapas. pp. 644-651. En: F. Paz, A. Velázquez y M. Rojo (eds.). *Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2018*. Texcoco, Estado de México, México.

-
- Tilman, D., J. Knops, D. Wedin and P. Reich. 2002. Plant diversity and composition: effects on productivity and nutrient dynamics of experimental grasslands. pp. 21-35. *In*: M. Loreau, S. Naeem and P. Inchausti (eds.) Biodiversity and Ecosystem Functionals. Oxford, UK: Oxford University Press.
- Tjørve, E. 2009. Shapes and functions of species-area curves (II): a review of new models and parameterizations. *Journal of Biogeography* 36:1435-1445.
- Tjørve, E. and K.M.C. Tjørve. 2021. Mathematical expressions for the species–area relationship and the assumptions behind the models. pp. 157–184. *In*: T. J. Matthews, K. A. Triantis and R. J. Whittaker (eds.), *The Species–Area Relationship: Theory and Application*. chapter, Cambridge: Cambridge University Press. <http://doi.org/10.1017/9781108569422.012>.
- Williams, M. R., B. B. Lamont and J. D. Henstridge. 2009. Species-area functions revisited. *Journal of Biogeography* 36:1994-2004.

