

Efecto de variables ambientales y rasgos funcionales foliares sobre la tasa de transpiración de *Theobroma cacao* bajo diferentes sistemas de producción

Francisco Saavedra A Dr.

Introducción

Los rasgos funcionales son características morfológicas, bioquímicas, fisiológicas, estructurales, fenológicas o de comportamiento de los organismos que influyen en la aptitud biológica. Las aplicaciones comunes de los rasgos funcionales son caracterizar las respuestas de las especies y la comunidad a las variaciones ambientales y cuantificar la influencia de los cambios de rasgos funcionales en los procesos ecosistémicos (Nock et al. 2016). Un único genotipo puede producir diferentes rasgos funcionales en diferentes ambientes. Esta plasticidad fenotípica es común en las plantas que muestran una variedad notable de rasgos funcionales, extendiéndose de diversos aspectos de la morfología, la fisiología y la anatomía (Sultan 2000). En consecuencia, la variación de rasgos funcionales va estar asociado al gradiente de variación en espacio y tiempo de las condiciones ambientales (Garnier et al. 2016).

De esta forma la interacción entre las condiciones ambiental y la plasticidad de rasgos funcionales foliares pueden asociarse con la cuantificación de procesos fisiológicos como la transpiración (Garnier et al. 2016). Entre los rasgos funcionales foliares con mayor respuestas a cambios en las condiciones ambientales, se encuentran el área foliar específica (AFE), la densidad estomática y el tamaño de los estomas (Wright et al. 2004, 2005). El área foliar específica (AFE) es un rasgo funcional que se utiliza para describir la estructura morfo-anatómica de las hojas. Se define usualmente como la proporción entre el área de la hoja y la masa seca de la misma (Pérez-Harguindeguy et al. 2013, Garnier et al. 2016). Varios estudios han encontrado correlación del AFE con la tasa de respiración foliar, tasa máxima de fotosíntesis, tasa de crecimiento relativo, contenido de N foliar y eficiencia de uso de agua a nivel de especies y comunidades (Poorter&Bongers 2006, Daymond et al. 2011, Garnier et al. 2016) y se considera un buen predictor del desempeño y estrategia de vida de las plantas (Poorter&Bongers 2006, Garnier et al. 2016).

Las plantas realizan el intercambio de gases para su fotosíntesis y respiración por medio de los estomas, poros en la superficie de las hojas (Zhenget al. 2013), cuyos rasgos como la densidad y el tamaño varían en respuesta a las necesidades hídricas de la planta (Franks&Beerling 2009), condiciones ambientales (Lahiveet al. 2017) y factores genéticos (Sugano et al. 2010). La transpiración de vapor de agua cumple varias funciones metabólicas y fisiológicas, entre las cuales permite la circulación de agua y transporte de nutrientes por el sistema vascular de la planta (Hölttäet al. 2006), evita el sobrecalentamiento de las hojas al causar pérdidas de calor por la evaporación de agua (Rozeendalet al. 2006) y además contribuye a la regulación de los ciclos del carbono y del agua (Taylor et al. 2012).

Los diferentes sistemas de cultivo tienen efectos a nivel fisiológico de la hoja. Por ejemplo un aumento en la radiación solar, incrementará la tasa de fotosíntesis, pero también la transpiración y los requerimientos hídricos de la planta (Daymond&Hadley 2004, Daymond et al. 2011). Por lo tanto, es de esperar de las condiciones ambientales generadas en los diferentes sistemas de cultivo tengan efectos sobre los rasgos funcionales foliares y los procesos fisiológicos de las especies cultivadas (Garnier et al. 2016, Balashima et al. 1991). El cacao tiene

cierta plasticidad funcional que le permite adaptarse a diferentes condiciones ambientales (Avila-Lovera *et al.* 2015), sin embargo, no se ha comparado hasta ahora que rasgos funcionales foliares son los que tienden a ser más plásticos y cómo la tasa de transpiración varía debido a las condiciones ambientales generadas en diferentes sistemas de cultivo.

El presente estudio busca analizar como varían los rasgos funcionales foliares y la tasa de transpiración en diferentes sistemas de producción de cacao. Una hipótesis es que la humedad no es un factor limitante por lo que los árboles que reciben más luz solar son más activos fisiológicamente, sin importar que se encuentren en ambientes con menor humedad ambiental. Otra hipótesis es que la humedad es un factor que limita la capacidad fisiológica de los árboles y éstos responden limitando su tasa de transpiración y adaptando su morfología, teniendo, por ejemplo menor densidad estomática o estomas más pequeños. Para poner a prueba estas hipótesis se medirán diferentes rasgos funcionales foliares (AFE, densidad Estomática y tamaño de las células oclusivas), tasa de transpiración y variables ambientales (temperatura, humedad, radiación solar) en parcelas con diferentes sistemas de cultivo de cacao. La relación entre las condiciones ambientales y los rasgos funcionales permitirá saber cuál de las hipótesis es más probable.

Pregunta

¿Cómo la tasa de transpiración de árboles de cacao es afectada por rasgos funcionales foliares y por variables ambientales (disponibilidad de luz y agua)?

Hipótesis

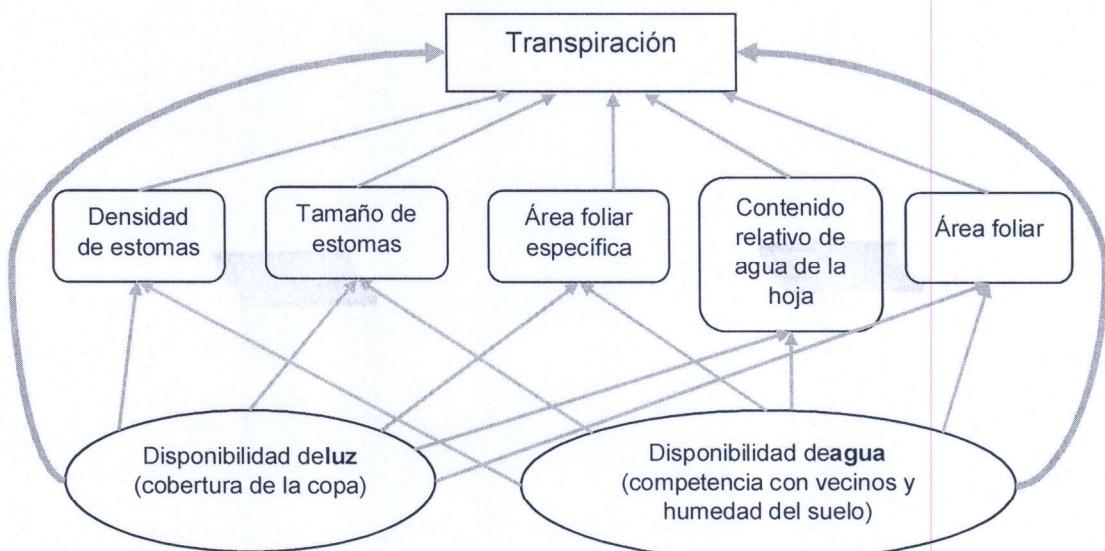


Figura 1: Diagrama conceptual de cómo los rasgos funcionales (rectángulos) y variables ambientales (disponibilidad de agua y luz) (elipses) influyen sobre la tasa de

transpiración(rectángulo). Flechas de color naranja indican efecto positivo y flechas de color gris indican efectos indirectos. La disponibilidad de agua puede tener un efecto negativo en la densidad y tamaño de estomas porque la planta no necesita aumentar conductancia para transpirar cuando hay abundancia de agua. Asimismo, la planta puede tratar de aprovechar al máximo la alta disponibilidad de agua aumentando densidad y tamaño de estomas y por lo tanto generándose un efecto positivo.

Predicciones

P1: Cuando hay poca competencia los árboles de cacao reciben mayor radiación solar y mostrarán rasgos funcionales para aumentar la tasa de fotosíntesis como alta densidad estomática, tamaño grande de estomas, mayor área foliar y la alta tasa de transpiración. En cambio, en los sistemas más complejos con árboles acompañantes, los árboles de cacao mostrarán los rasgos funcionales y la tasa de transpiración opuesta de los sistemas simples.

P2: Los árboles con menor cobertura sufren mayor estrés hídrico y desarrollarán rasgos funcionales para evitar la pérdida de humedad como una baja densidad estomática, tamaño pequeño de estomas, menor área foliar y la baja tasa de transpiración. Árboles con mayor cobertura tienen condiciones menos estresantes y por lo tanto mostrarán rasgos funcionales y tasa de transpiración opuesta de los sistemas simples.

Objetivos

Objetivo general

Determinar cómo los rasgos funcionales foliares y la disponibilidad de luz y agua afectan la tasa de transpiración de cacao.

Objetivos específicos

- Cuantificar disponibilidad de luz y agua (índice de exposición de la copa, competencia con los vecinos, humedad del suelo) en árboles de cacao bajo diferentes sistemas de producción.
- Cuantificar los rasgos funcionales foliares de cacao relacionados a la transpiración en árboles bajo diferentes sistemas de producción.
- Cuantificar la tasa de transpiración en árboles de cacao bajo diferentes sistemas de producción.

Métodos

Sitio de estudio

El trabajo de campo se realizará en octubre de 2017 en la localidad de Sara Ana en la región de Alto Beni del departamento de La Paz, Bolivia ($15^{\circ}27'36"S$ - $67^{\circ}28'17"O$, 450 m s.n.m.), donde se lleva a cabo un ensayo de “Comparación de sistemas de producción de cacao a largo plazo”. La temperatura media anual es de $25.2 \pm 0.5^{\circ}C$, y la precipitación anual de $1.441 \pm$

plátano (*Musaspp.*, Musaceae) con la misma densidad del cacao (Schneider & Seidel 2010). El sistema agroforestal convencional (AC) se diferencia de MC por poseer una sombra permanente de especies arbóreas agroforestales como leguminosas, maderables y frutales. Se utilizan agroquímicos en menor dosis que en el MC. El agroforestal orgánico (AO) difiere del AC por no aplicar agroquímicos, se utiliza abono orgánico y productos de biocontrol autorizados (Schneider & Seidel 2010). En el subdosel están los árboles de cacao acompañados de otras especies arbustivas y arbóreas (Schneider & Seidel 2010). En las parcelas del sistema agroforestal sucesional (SAFS) se trató de simular el proceso de la sucesión natural, sembrando varias especies de plantas de ciclo de vida corta (hibisco, yuca, arroz, piña) en la fase inicial y después diversas especies de árboles agroforestales según el crecimiento del cacao (Schneider & Seidel 2010). Estas plantas producen una gran cantidad de materia orgánica, que sirve como abono orgánico. No se aplican ni agroquímicos ni productos de biocontrol. Se realiza el deshierbe selectivo y podas del dosel llamada de sincronización para satisfacer las necesidades del cacao respecto a la luz (Schneider & Seidel 2010). Aún con estas podas el dosel es más cerrado que en AO y AC. Bajo el dosel crecieron árboles de diferentes tamaños, formando varias capas en estratos intermedios a manera de subdosel (Naoki com. pers. 2017). Finalmente, las parcelas de barbecho (BAR) fueron limpiadas, luego se sembró y cosechó maíz y plátano y se dejaron sin ningún manejo. Los árboles pioneros de la zona como Cecropiasp. (Cecropiaceae) alcanzan hasta 20 m de altura, y el sotobosque es muy denso dentro de las parcelas de BAR (Naoki com. pers. 2017).

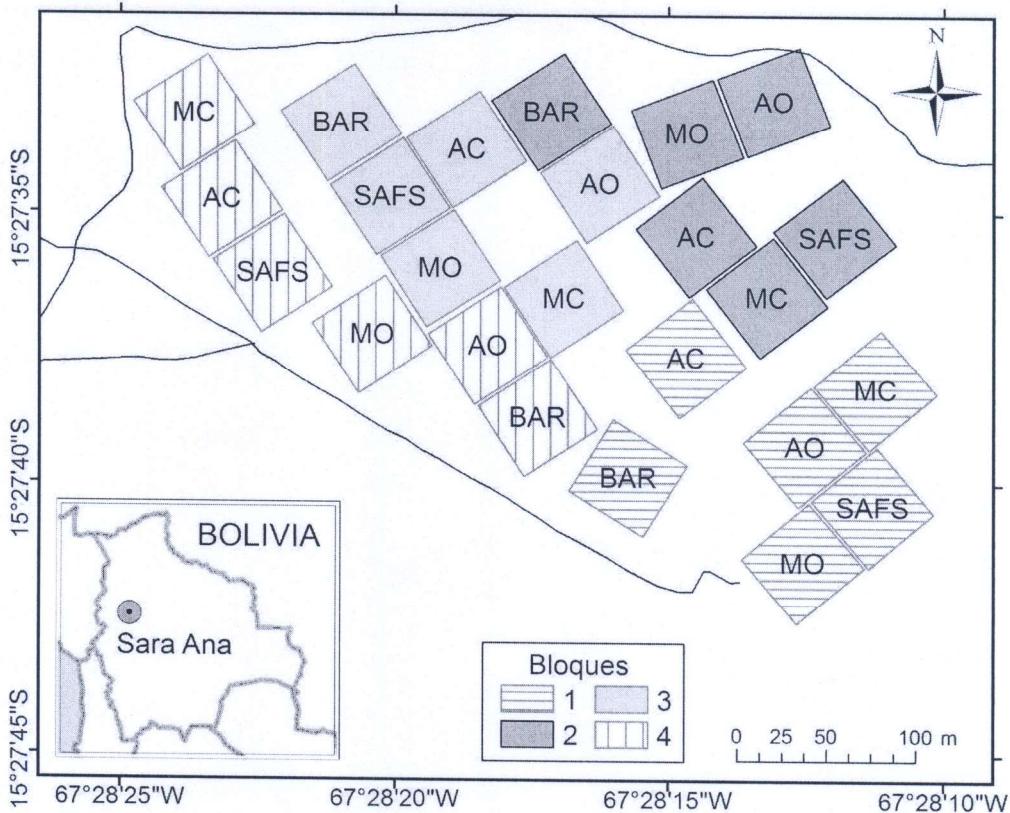


Figura 1: Mapa del ensayo de “Comparación de sistemas de producción de cacao a largo plazo” en Sara Ana, Depto. La Paz, Bolivia ($15^{\circ}27'36''S$ - $67^{\circ}28'17''W$, 400 m s.n.m.). Abreviaciones: BAR: Barbecho, SAFS: Sistema agroforestal sucesional, AO: Agroforestal orgánico, AC: Agroforestal convencional, MO: Monocultivo orgánico, MC: Monocultivo convencional (Figura extraída de Schneider & Seidel 2010).

Especie de estudio

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es una especie de árbol perennifolio de la familia Malvaceae nativo de los bosques tropicales de Centro y Sudamérica (Alversonet al. 1999, Motamayoret al. 2002, Almeida & Valle 2007). Sus semillas se utilizan como materia prima para la elaboración de chocolate. Actualmente es uno de los cultivos perennes tropicales más importantes y se cultivan en regiones tropicales de África, Centro y Sur América y Asia (ICCO 2017) tres variedades de cacao: el *Criollo*, que produce el chocolate de mejor calidad y es más sensible a las enfermedades y plagas; el *Forastero*, que es más resistente a enfermedades y más productivo; y el *Trinitario*, que es un híbrido de las anteriores variedades (Argoutet al. 2011). El cacao se cultiva en diferentes sistemas de producción, que van desde sistemas agroforestales complejos hasta monocultivos (Rice & Greenberg 2000). El sistema de producción agroforestal presenta una estructura y diversidad compleja, con diferentes especies de plantas acompañantes

en un sistema de policultivo con sombra (Rice & Greenberg 2000). Por el contrario, los sistemas de monocultivo, presentan una estructura y diversidad sencilla, con pocas o ninguna especie acompañante, donde, el cacao crece sin sombra (Ahenkora et al. 1987, Rice & Greenberg 2000, Almeida & Valle 2007).

Disponibilidad de luz y agua

Dado que todas las parcelas están expuestas a las mismas condiciones climáticas, se espera que la variación microambiental entre árboles se deba a la influencia de árboles y plantas vecinas. Por esto es que se medirá la disponibilidad de luz y agua como cobertura. Para la disponibilidad de luz se utilizará el índice de iluminación de la copa (ICC) de Dawkins & Fields (1978), el cual es una medida cualitativa de la cobertura que hay alrededor y encima de la copa de un árbol. Tiene la ventaja que es un medida más general que la medición directa del flujo de fotones o la radiación fotosintéticamente activa, las cuales sólo dan información instantánea de las condiciones del momento (Keeling & Philips 2007). La disponibilidad de agua se debe a la humedad del suelo y la competencia de las raíces con plantas vecinas. La competencia de las raíces con plantas vecinas será determinada suponiendo que el alcance de las raíces es equivalente a una circunferencia igual a la proyección de la copa sobre el suelo. Esta será medida a tres niveles: por encima de la copa del árbol, plantas vecinas a la copa y cobertura de hierbas en el suelo (esta última será sólo la proporción de cobertura del suelo por hierbas sobre la circunferencia mencionada). También se tomarán medidas de la humedad del suelo porque esta puede variar independientemente de la cobertura que tenga.

Adicionalmente se cuantificarán dos variables ambientales, la temperatura ambiente, la humedad relativa a 1,5 m de altura en 4 puntos de medición alrededor del árbol simultáneamente a la cuantificación de tasa de transpiración con un datalogger (PASCO Xplorer GLX Datalogger).

Rasgos funcionales y tasa de transpiración

Se seleccionarán cinco árboles de cacao en cada parcela, se escogerán cuatro parcelas, cada una un sistema de producción diferente (sin distinguir entre AC y AO); estos estarán lo más alejado posible del borde de la parcela, pero sin entrar en la subparcela núcleo (25 m x 25 m en el centro de la parcela) donde no está permitido realizar mediciones (Naoki com. pers. 2017). De cada árbol se seleccionarán 4 hojas maduras, sanas, sin rastros de herbivoría, con diferente exposición (N, S, E y O). Se hará un muestreo piloto donde se determinará la curva de transpiración a lo largo del día para parcelas MC y AC o AO, con esta curva se conocerá las horas del día cuando la tasa de transpiración es mayor. Se medirá la tasa de transpiración en estas hojas con un sensor infrarrojo de gases en el intervalo (mínimo 2 horas) del día con mayor tasa de transpiración. Esto se realiza aislando la hoja viva en la planta un recipiente de plástico hermetizado con parafilm y registrando la humedad absoluta cada segundo a lo largo de dos minutos, desechándose los primeros 30 s de datos. Se medirán cinco rasgos foliares: área foliar, área foliar específica (AFE), contenido relativo de agua de la hoja (CRAH), densidad estomática y tamaño de las células oclusivas del estoma (Lebrija-Trejos 2010, Yang et al. 2013) de las mismas hojas utilizadas para medir la transpiración. La densidad estomática y tamaño de células oclusivas serán medidos utilizando el método de la impresión de la cutícula de la hoja en esmalte de uñas transparente, se medirá el tamaño de células oclusivas en 20 estomas por hoja

(Brewer 1992, Daymondet *et al.* 2011, Sanchezet *et al.* 2013). El área foliar y área foliar específica será medido usando el método de Pérez-Harguindeguyet *et al.* (2013), que calcula el AFE usando una imagen escaneada o una foto de la hoja que se procesa en un software (Imagen J) para conocer el área foliar en cm^2 , luego se deshidrata la hoja para pesarla y se obtiene el AFE del cociente de estos dos valores. Para calcular el CRAH se pesará la hoja fresca en campo y luego la hoja deshidratada, se calcula como el cociente entre la diferencia de peso y el peso fresco de la hoja.

Tabla 1: Rasgos foliares a medirse, sus características y rol funcional.

Rasgo	Unidad de medida	Obtención del rasgo	Rol funcional
Área foliar	cm^2	Campo	Captura de luz
Área foliar específica	cm^2/g	Campo	Tasa fotosintética, captura de luz
Contenido relativo de agua de la hoja	g/g	Campo	Balance hídrico
Densidad estomática	Estomas/ mm^2	Laboratorio	Balance hídrico
Tamaño de células oclusivas	μm	Laboratorio	Balance hídrico

Análisis estadístico

Se utilizará un análisis de caminos (pathanalysis) para probar las relaciones causales entre las variables y conocer cuales variables afectan significativamente a la tasa de transpiración y en qué magnitud. Este tipo de análisis requiere varias regresiones múltiples donde la variable dependiente es afectada por variables independientes, esta relación en la Figura 1 está representada por las flechas entre variables.

Resultados esperados

Con los datos cuantitativos de los rasgos funcionales, la tasa de transpiración y disponibilidad de recursosen 20 árboles de diferentes parcelas, se podría analizar estadísticamente la relación que existe entre estas variables, y se podría probar las hipótesis acerca del efecto de las condiciones ambientales y rasgos funcionales en la tasa de traspiración de esta especie.

Presupuesto

Ítem	Costo unitario	Cantidad	total
Viáticos	60 bs	5 días por 2 personas, 23 días por 1 personas	1980
Transporte entre La Paz y Sara Ana	300 bs ida /vuelta	3	900
Alquiler de equipo	100 bs / días	28	2800
Reactivos	2100	1	2100
Materiales de laboratorio	1500	1	1000

Material de escritorio	400	1	200
Gastos imprevistos (15%)			1347
TOTAL			10327 bs

Bibliografía

- Ahenkorah, Y., B. J. Halm, M. R. Appiah, G. S. Akrofi & J. E. K. Yirenkyi. 1987. Twenty years' results from a shade and fertilizer trial on Amazon cocoa (*Theobroma cacao*) in Ghana. Experimental agriculture 23(1): 31-39.
- Almeida, A.A.F.D. & R. R. Valle. 2007. Ecophysiology of the cacao tree. Brazilian Journal of Plant Physiology 19(4): 425-448.
- Alverson W. S., B. A. Whitlock, R. Nyffeler, C. Bayer & D. A. Baum. 1999. Phylogeny of the core Malvales: evidence from ndhF sequence data. American Journal of Botany 86:1474-1486.
- Avila-Lovera, E., Coronel, I., Jaimez, R., Urich, R., Pereyra, G., Araque, O., Chacon, I. & Tezara, W. 2015. Ecophysiological traits of adult trees of Criollo cocoa cultivars (*Theobroma cacao* L.) from a germplasm bank in Venezuela. Experimental Agriculture 52(1): 137-153.
- Balasimha, D., E. V. Daniel & P. G. Bhat. 1991. Influence of environmental factors on photosynthesis in cocoa trees. Agricultural and Forest Meteorology, 55(1-2): 15-21.
- Brewer, C.A. 1992. Responses by stomata on leaves to microenvironmental conditions. pp. 67-75. En: Goldman, C.A. (eds.). Tested studies for laboratory teaching. Vol. 13. Proc. 13th Workshop/Conference of the Association for Biology Laboratory Education.
- Dawkins, H.C., Field, D.R.B., 1978. A Long-term Surveillance System for British Woodland Vegetation. Department of Forestry, Oxford University, Oxford.
- Daymond, A. J., P. J. Tricker, & P. Hadley. 2011. Genotypic variation in photosynthesis in cacao is correlated with stomatal conductance and leaf nitrogen. Biologia Plantarum, 55 (1): 99-104
- Daymond, A.J. & P. Hadley. 2004. The effects of temperature and light integral on early vegetative growth and chlorophyll fluorescence of four contrasting genotypes of cacao (*Theobroma cacao*). Annals of Applied Biology, 145(3): 257-262.
- Engels, J. M. M. 1983. A systematic description of cacao clones. Euphytica, 32(3): 1-119.
- Franks, P.J. & D. J. Beerling. 2009. Maximum leaf conductance driven by CO₂ effects on stomatal size and density over geologic time. Proceedings of the National Academy of Sciences, 106(25): 10343-10347.
- Garnier, E., M. L. Navas, & K. Grigulis. 2016. Plant functional diversity: organism traits, community structure, and ecosystem properties. Oxford University Press. Oxford, Reino Unido. 249 p.
- Hölttä, T., T. Vesala, S. Sevanto, M. Perämäki & E. Nikinmaa. 2006. Modeling xylem and phloem water flows in trees according to cohesion theory and Münch hypothesis. Trees, 20(1): 67-78.
- International Cocoa Organization (ICCO). 2017. Quarterly Bulletin of Cocoa Statistics, Vol. XLIII, No. 2, Cocoa year 2016/17
- Keeling, H.C. & O. L. Phillips. 2007. A calibration method for the crown illumination index for assessing forest light environments. Forest Ecology and Management, 242(2): 431-437.
- Lahive, F., Hadley, P. and Daymond, A.J., 2017. The impact of elevated CO₂ and water deficit stress on growth and photosynthesis of juvenile cacao (*Theobroma cacao* L.). Photosynthetica, 56(1):1-10.
- Lebría-Trejos, E., E. A. Pérez-García, J. A. Meave, F. Bongers & L. Poorter. 2010. Functional traits and environmental filtering drive community assembly in a species-rich tropical system. Ecology 91(2): 386-398.
- Lobão D. E., W. C. Setenta, E. S. P. Lobão, K. Curvelo K & R. R. Valle RR. 2007. Cacaucabruca: sistema agrossilvicultural tropical. pp.290-323. En: Valle R. R. (ed), Ciência, Tecnologia e Manejo do Cacau-eiro, Gráfica e Editora Vital Ltda, Ilhéus.
- Lohbeck, M., L. Poorter, H. Paz, L. Pla, M. van Breugel, M. Martínez-Ramos & F. Bongers 2012. Functional diversity changes during tropical forest succession. Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics, 14(2): 89-96.
- Malézieux, E., Y. Crozat, C. Dupraz, M. Laurans, D. Makowski, H. Ozier-Lafontaine, B. Rapidel, S. De Tourdonnet & M. Valantin-Morison. 2009. Mixing plant species in cropping systems: concepts, tools and models: A review. Agronomy for sustainable development, 29: 43-62.
- Motamayor J. C., A. M. Risterucci AM, P. A. Lopez, C. F. Ortiz, A. Moreno & C. Lanaud. 2002. Cacao domestication. I. The origin of the cacao cultivated by the Mayas. Heredity 89:380-386.

- Nock, C. A., Vogt, R. J. and Beisner, B. E. 2016. Functional Traits. eLS. 1–8.
- Pérez-Harguindeguy, N., S. Díaz, E. Garnier, S. Lavorel, H. Poorter, P. Jaureguiberry, M. S. Bret-Harte, W. K. Cornwell, J. M. Craine, D. E. Gurvich & C. Urcelay. 2013. New handbook for standardized measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of botany*, 61(3): 167-234.
- Poorter, L. & F. Bongers. 2006. Leaf traits are good predictors of plant performance across 53 rain forest species. *Ecology*, 87(7): 1733-1743.
- Rice, R.A. & R. Greenberg. 2000. Cacao cultivation and the conservation of biological diversity. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 29(3): 167-173.
- Rozendaal, D.M.A., V. H. Hurtado & L. Poorter. 2006. Plasticity in leaf traits of 38 tropical tree species in response to light: relationships with light demand and adult stature. *Functional Ecology*, 20(2): 207-216.
- Sánchez, C., G. Fischer, & D. W. Sanjuanelo. 2013. Stomatal behavior in fruits and leaves of the purple passion fruit (*Passifloraedulis Sims*) and fruits and cladodes of the yellow pitaya [*Hylocereusmegalanthus* (K. Schum. ex Vaupel) Ralf Bauer]. *Agronomía Colombiana* 31(1): 38-47.
- Schneider, M. & R. Seidel. 2010. Estudios de línea base en biodiversidad en Sara Ana, Alto Beni, en el marco de la comparación de sistemas de Producción de cacao a largo plazo. pp. 105-107. En: Beck, S. G., N. Paniagua, R. P. López & N. Nagashiro (eds.) *Biodiversidad y Ecología en Bolivia - Simposio de los 30 años del Instituto de Ecología*. Instituto de Ecología, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia
- SENAMHI. 2012. SisMet: la base de datos oficial del SENAMHI. <http://www.senamhi.gob.bo/sismet/index.php>. Accedido el 15 de agosto de 2017.
- Steffan-Dewenter, I., M. Kessler, J. Barkmann, M.M. Bos, D. Buchori, S. Erasmi, H. Faust, G. Gerold, K. Glenk, S.R. Gradstein, E. Guhardja, M. Harteveld, D. Hertel, P. Höhn, M. Kappas, S. Köhler, C. Leuschner, M. Maertens, R. Marggraf, S. Migge-Kleian, J. Mogea, R. Pitopang, M. Schaefer, S. Schwarze, S. G. Sporn, A. Steingrebe, S. S. Tjitosoedirdjo, A. Twele, R. Weber, L. Woltmann, M. Zeller & T. Tscharntke. 2007. Tradeoffs between income, biodiversity, and ecosystem functioning during tropical rainforest conversion and agroforestry intensification. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(12): 4973-4978.
- Sugano, S.S., T. Shimada, Y. Imai, K. Okawa, A. Tamai, M. Mori & I. Hara-Nishimura. 2010. Stomagen positively regulates stomatal density in *Arabidopsis*. *Nature*, 463(7278): 241-244.
- Sultan, S. E. 2000. Phenotypic plasticity for plant development, function and life history. *Trends in plant science* 5: 537-542.
- Taylor, S.H., P. J. Franks, S. P. Hulme, E. Spriggs, P. A. Christin, E. J. Edwards, F. I. Woodward & C. P. Osborne. 2012. Photosynthetic pathway and ecological adaptation explain stomatal trait diversity amongst grasses. *New Phytologist*, 193(2): 387-396.
- Yang, Z., T. R. Sinclair, M. Zhu, C. D. Messina, M. Cooper & G. L. Hammer. 2012. Temperature effect on transpiration response of maize plants to vapour pressure deficit. *Environmental and Experimental Botany*, 78: 157-162.
- Zheng, Y., M. Xu, R. Hou, R. Shen, S. Qiu, & Z. Ouyang. 2013. Effects of experimental warming on stomatal traits in leaves of maize (*Zea may L.*). *Ecology and Evolution* 3(9): 3095-3111.