

Artículo original

Características morfométricas de tres especies de pacay (*Inga spp.*) que afectan la calidad de la sombra en sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao*)

Morphometric characteristics of three species of Pacay (*Inga spp.*) that affect shade quality in cocoa agroforestry systems (*Theobroma cacao*)

Consuelo Campos Villanueva^{1*}, Alejandra Domic^{1,2}, Renate Seidel¹, Wiebke Niether³ & Monika Schneider⁴

*Autor de Correspondencia: consuelocampos@hotmail.com

¹Herbario Nacional de Bolivia-Instituto de Ecología, Campus Universitario de Cota Cota, Calle 27, La Paz.

²Department of Geosciences, Pennsylvania State University, PA 16802, Estados Unidos

³Göttingen University, Institute of Geography, Goldschmidtstrasse 5, 37077 Göttingen, Germany

⁴Department of International Cooperation, Forschungsinstitut für Biologischen Landbau (FiBL), Ackerstrasse 113, Postfach 219, 5070 Frick, Suiza

Recibido: 01/11/2024 Aceptado para publicación: 01/12/2024

Resumen

Los árboles del género *Inga* son frecuentemente empleados en sistemas agroforestales de cacao y café por los beneficios ecosistémicos que proveen. En los sistemas agroforestales la cobertura del dosel y las características morfológicas de los árboles acompañantes son importantes para el crecimiento del cacao (*Theobroma cacao*). El objetivo de este estudio fue evaluar la función de árboles del género *Inga* (*I. ingoides*, *I. marginata* e *I. spectabilis*) en la calidad de la sombra para el desarrollo de *Theobroma cacao*. El área de estudio está ubicada en Sara Ana al noreste del departamento de La Paz, Bolivia. Comparamos el porcentaje de sombra generado por árboles de *Inga* bajo sistemas agroforestales de cacao convencionales y orgánicos y, adicionalmente, comparamos las relaciones morfométricas en tres especies de *Inga*. La evaluación mostró un porcentaje del dosel cerrado en parcelas convencionales y parcelas orgánicas. *I. ingoides* presenta un promedio de 73% de dosel cerrado, *I. spectabilis* un 59% de dosel cerrado e *I. marginata* un 84% de dosel cerrado. *I. ingoides* mostró un incremento positivo lineal en el diámetro al pecho (DAP) y la dimensión de la copa con la altura de la planta. Mientras que *I. spectabilis* sólo mostró un incremento lineal en el DAP a medida que la altura total incrementó e *I. marginata* no mostró ninguna relación. Las especies de *Inga* evaluadas mostraron diferencias intraespecíficas en sus características de sombra y su uso para sistemas agroforestales de cacao, los productores podrían tomar en cuenta otros aspectos como características climáticas (horas solares) y la capacidad de manejo en el empleo de especies antes de plantar.

Palabras clave: *Inga*, sistemas agroforestales, sombra, DAP

Abstract

Trees of the *Inga* genus are frequently used in agroforestry systems for cacao and coffee due to the ecosystem benefits they provide. In agroforestry systems, canopy cover and the morphological characteristics of companion trees are important for the growth of cacao (*Theobroma cacao*). The objective of this study was to evaluate the function of *Inga* trees (*I. ingoides*, *I. marginata*, and *I. spectabilis*) in providing shade for the development of *Theobroma cacao*. The study area is located in Sara Ana, northeast of the La Paz department in Bolivia. We compared the percentage of shade provided by *Inga* trees in conventional and organic cacao agroforestry systems, and additionally, we compared the morphometric relationships in three *Inga* species. The evaluation showed a percentage of closed canopy in both conventional and organic plots. *I. ingoides* presented an average of 73% closed canopy, *I. spectabilis* 59%, and *I. marginata* 84%. *I. ingoides* showed a positive linear increase in diameter at breast height (DBH) and canopy size with plant height, while *I. spectabilis* showed only a linear increase in DBH as total height increased, and *I. marginata* showed no relationship. The evaluated *Inga* species exhibited intraspecific differences in their shade characteristics and their use in cacao agroforestry systems. Producers could consider other factors, such as climatic conditions (sunlight hours) and management capacity, before planting these specie.

Keywords: agroforestry systems, *Inga*, shade, DBH

Introducción

En los trópicos, los Sistemas Agroforestales (SAFs) con cacao y café son sistemas comunes de producción, de los cuales cerca del 70% de la producción de cacao (*Theobroma cacao*) proviene de pequeños agricultores (Álvarez-Carrillo *et al.* 2012). Los SAFs son una forma de producción agrícola y forestal conjunta, que busca minimizar el impacto negativo de la producción agrícola en la biodiversidad y, a su vez, controla plagas y enfermedades de forma natural sin el empleo de fertilizantes, insecticidas ni herbicidas químicos, empleando solo deshierbe manual y algunas veces repelentes naturales. Para esto se combinan especies económicamente rentables como especies forestales, frutales, medicinales y de poda (Willkes 2006). Esto permite al agricultor diversificar la producción, obteniendo una diversidad de productos como madera, leña, frutos, plantas medicinales, forrajes, entre otros (Sáenz *et al.* 2010). Adicionalmente, los SAFs presentan una alta compatibilidad con los patrones culturales de pequeños productores rurales, ya que el productor prefiere las mismas condiciones ecológicas como aquellas en las que se encuentra formando parte del monte bajo de los bosques tropicales.

Los SAFs crean un microclima que amortigua las fluctuaciones de temperatura, manteniendo así el cultivo principal más cerca a sus condiciones óptimas (Nicolls & Altieri 2013). Beer *et al.* (2003) identificaron que los principales beneficios ecosistémicos aportados por los SAFs son el mantenimiento de la fertilidad del suelo a través de la fijación de nitrógeno, reciclaje de nutrientes y reducción de la erosión mediante el aporte de material orgánico al suelo; conservación del agua (cantidad y calidad) al favorecer la infiltración y reducir la escorrentía superficial y captura de carbono, superior a los sistemas agrícolas sin árboles de sombra (Niether *et al.* 2019) y conservación de la biodiversidad en paisajes fragmentados (Tscharntke *et al.* 2011)

Los SAFs enfocados al cultivo del cacao (*Theobroma cacao*) se basan en un diseño que identifica la ubicación de los árboles en las parcelas de producción, el número de plantas de cacao, así como las especies de árboles acompañantes. El tipo y la distribución de las especies seleccionadas para generar sombra pueden afectar el rendimiento y la producción del cacao (Campos 2015). *T. cacao* es una especie umbrófila que requiere de 60 a 70% de sombra durante los primeros cuatro años y de 30 a 40% en plantaciones adultas o en áreas con una estación seca mayor a dos meses (Ortiz & Riascos 2003). Durante la época de floración, *T. cacao* requiere más luz, mientras que el resto del año requiere una mayor cantidad de sombra porque entra en estado de dormancia. Así también, la producción de yemas de *T. cacao* está asociada con la cantidad de luz que penetra el dosel. Por ejemplo, cuando existe poca intercepción de luz a través del dosel, las yemas tienden a surgir en las partes más altas del árbol, mientras que cuando existe una mayor cantidad de luz, las yemas emergen al nivel del suelo y en mayor cantidad (López 2016), facilitando la cosecha de frutos y

aumentando la productividad de las parcelas.

Existe una variabilidad de especies acompañantes que se emplean en los SAFs destinados a la producción de cacao. Especies con diferente estructura foliar (disposición de las hojas) y forma de la copa (abierta o cerrada) son utilizadas para intercalar el tipo de sombra que requiere *T. cacao* durante el año. Entre las especies forestales altamente rentables comúnmente empleadas se encuentran la mara (*Swietenia macrophylla*), el roble (*Amburana cearensis*), el cedro (*Cedrela sp.*), el huasicucho (*Centrolobium ochroxylum*) y la quina quina (*Myroxylon balsamum*). Estas especies poseen copas altas de 20-30 m y relativamente poco extendidas y tienden a generar poca sombra sobre el cacao. Adicionalmente, tienden a crecer lentamente y no afectan el crecimiento a *T. cacao* durante sus primeros años. En contraste, las especies de Inga (Fabaceae, subfamilia Mimosoideae) poseen varios atributos morfológicos generan sombra y favorece el crecimiento de las plantas de *T. cacao*. Por ejemplo, Inga tiende a crecer rápido y sus hojas compuestas rebrotan fácilmente después de una poda, brindando una sombra que se desarrolla más rápido (comunicación personal). Un dosel medio será más efectivo por el alcance de cobertura de su sombra amplia para el cacao.

El género Inga además de generar sombra, enriquece el suelo a través de la fijación de nitrógeno, y como la naturaleza de muchas leguminosas, muchas especies de Inga defoliar, reduciendo así el área de sombra cuando el cacao requiere más luz (comunicación personal). Éste es el caso de Inga spectabilis (Vahl) Willd (Pennington 1997), empleada comúnmente como árbol de sombra en pasturas por su fruto comestible, y otros usos como madera para carbón, leña y construcción. Su adaptabilidad ecológica sugiere que se podría utilizar para agroforestería y en un amplio rango de localidades con condiciones limitantes.

Otras características de Inga son su rápido crecimiento y profusa ramificación, así como su tasa de aporte de follaje al suelo de lenta descomposición, la hacen ideal como especies controladoras de malezas (Pennington 1997). Responde muy bien a la poda y provee abundante materia orgánica de follaje que puede ser utilizada como abono para los cultivos asociados (Pennington 1997). Es muy tolerante a suelos rojos ácidos y coloniza rápidamente en este tipo de medio, lo cual la hace valiosa para programas de reforestación en la Amazonia; por ejemplo, en zonas adyacentes a carreteras recién abiertas en las cuales la vegetación ha sido extraída (Pennington 1997). Todo lo expresado reafirma su excelencia como especie multi-propósito con muchos usos potenciales, remarcando la no dependencia de aplicación de fertilizantes químicos para el óptimo desarrollo del SAF.

En este estudio comparamos el porcentaje de sombra de tres especies de Inga entre los sistemas agroforestales convencionales y orgánicos y, comparamos los caracteres morfométricos entre las especies de Inga. Hipotetizamos que: 1) existen diferencias en la cobertura del dosel la

sombra será mayor en el cultivo convencional por la aplicación de la fertilización que inducirá a un mayor desarrollo de la parte vegetativa del cacao; en comparación con el orgánico y 2) la evaluación de la relación de las especies funcionales en los sistemas agroforestales del género *Inga* en los cultivos de cacao, tomando en cuenta la copa, el diámetro y la altura, mostrará que estos factores morfométricos caracterice la calidad de la sombra.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El estudio se realizó en la localidad de la estación experimental Sara Ana (15°27' 32''S, 67°28'28''W, 350 m.s.n.m.) ubicada en el Municipio de Alto Beni, Caranavi del departamento de La Paz, Bolivia. Las parcelas del ensayo se encuentran ubicadas a 400 msnm y a una distancia de 0,5 km del campamento de Sara Ana y del río La Paz (Figura 1). El clima se caracteriza por ser cálido y húmedo. Con una temperatura promedio anual de 26,6 °C (Temperatura máxima: 32° C y temperatura mínima 21°C) y una precipitación total de 1518mm (SENAMHI, 2019). La vegetación de la región es bosque siempreverde estacional subandino del suroeste de la Amazonía (Navarro, 2011). Entre los géneros de árboles importantes en el área de estudio se encuentran *Acalypha*, *Alchornea*, *Guatteria*, *Inga*, *Nectandra*, *Persea*, *Solanum* y *Trichilia* (Ibisch et al. 2003 Campos et al. 2010). Adicionalmente existen otras especies económicamente importantes como *Astrocaryum gratum*, *Celtis schippii*, *Pentaplaris davidsmithii*, *Pseudolmedia laevis*, *Attalea princeps*, *Drypetes amazonica*, *Sarcaulus brasiliensis*, *Terminalia oblonga*, y *Myroxylon balsamum*, entre otros (Campos et al. 2019).

Métodos

Las unidades de muestreo fueron parcelas con dos tipos diferentes de tratamientos de sistemas agroforestales de cacao: Agroforestal Convencional (AFCONV) y Agroforestal Orgánico (AFORG) con cuatro repeticiones (Schneider et al. 2016). Se evaluaron cuatro parcelas de sistema Agroforestal orgánico (AFORG) las cuales se caracterizan por tener un sombreado regular por leguminosas, frutales y maderables. Mientras que las cuatro parcelas de sistema Agroforestal convencional (AFCONV) también con sombreado pero utilizan regularmente empleo de agroquímicos en el manejo del cacao (Sáenz et al. 2010, Schneider et al. 2016).

Se muestrearon un total de ocho parcelas de cultivo de cacao 48 x 48 m. Los árboles de cacao ubicados en las parcelas de ensayo en Sara Ana fueron plantados cada 4 x 4 m, entremezclados con árboles de *Inga spp.* Los cuales están ubicados cada 8 x 8 m, resultando entre 8-24 individuos por parcela. Adicionalmente se encuentran en las parcelas otras especies que acompañan a las anteriores, como huasicucho (*Centrolobium ochroxylum*), asaí (*Euterpe precatoria*), mara (*Swietenia macrophylla*), quina (*Myroxylon balsamum*), goma (*Hevea brasiliensis*) y paquí (*Hymenaea courbaril*) (Figura 2), resultando en un sombreado regular por leguminosas, frutales

y maderables (Schneider et al. 2016, Niether et al. 2017).

Se seleccionaron tres especies de *Inga* (*I. ingoides*, *I. spectabilis* y *I. marginata*.) por parcela para la toma de datos morfométricos. Estas especies fueron seleccionadas por su abundancia en las parcelas. El diámetro a la altura del pecho (DAP) se registró a 1,3 m del nivel del suelo. La altura se midió con una regla extensiva desde la base del tronco hasta la copa y el área de la copa se estimó dos lados en forma de cruz con dirección cardinal.

Se estimó la cobertura de dosel utilizando fotografías hemisféricas. Las fotografías fueron tomadas con una cámara digital con un lente ojo de pez. Cada fotografía fue tomada a una distancia de 3,2 m del suelo, por encima del dosel de los árboles de cacao, una por sentido cardinal, en total se tomaron cuatro fotografías por cada individuo de *Inga spp.*, a una distancia de 1 m del tronco. Se realizó la toma de datos en el momento de manejo de la preoda de los árboles de sombra de *Inga*. Las fotografías fueron procesadas utilizando el programa Análisis Informático Gap Light Analyzer-GLA (Frazer et al. 2005), donde se estimó el porcentaje de cobertura de dosel, como una manera indirecta de la cantidad de sombra que reciben los árboles de cacao.

Utilizamos una ANOVA de una vía para determinar si existe diferencias en la cobertura de dosel entre las parcelas agroforestal convencional y agroforestal orgánico. Modelos Lineales Generalizados (MLG) fueron empleados para determinar las relaciones morfométricas (altura total, DAP y área de la copa) en las especies de *Inga*. Los análisis estadísticos fueron realizados utilizando el programa estadístico R. (versión 3.5.3).

Resultados

Los resultados mostraron diferencias no significativas en el porcentaje de dosel cerrado entre las parcelas con manejo orgánico y convencional (F = 0,91, P = 0,34). El porcentaje promedio de dosel cerrado en parcelas convencionales fue 70,72 ± 1,18% y en parcelas orgánicas fue 72,39 ± 1,27%; (Figura 3a). Comparaciones en los caracteres morfométricos de las especies de *Inga* presentes en las parcelas de cultivo de *T. cacao* mostraron variaciones intraespecíficas (Tabla 1). En base a los tres caracteres morfométricos medidos se observa que las plantas de *I. ingoides* e *I. marginata* son más grandes que *I. spectabilis*. La altura total promedio de *I. ingoides* fue 9,0 m y la altura total promedio de *I. marginata* fue de 9,8 m, mientras que la altura promedio de *I. spectabilis* fue de 6,1 m, alcanzando alturas máximas de 8,8m.

El análisis morfométrico mostró un incremento lineal en el área de la copa a medida que el DAP incrementa en las tres especies de *Inga* (Tabla 2). Esta relación es particularmente pronunciada en *I. ingoides* e *I. spectabilis* (Figura 3b). De igual manera se observó un incremento lineal en el DAP a medida que la altura total incrementa para las tres especies de *Inga* (Figura 3c) y una relación lineal mente positiva entre la altura y la copa en el caso de *I. ingoides* e *I. spectabilis* (Figura 3d).

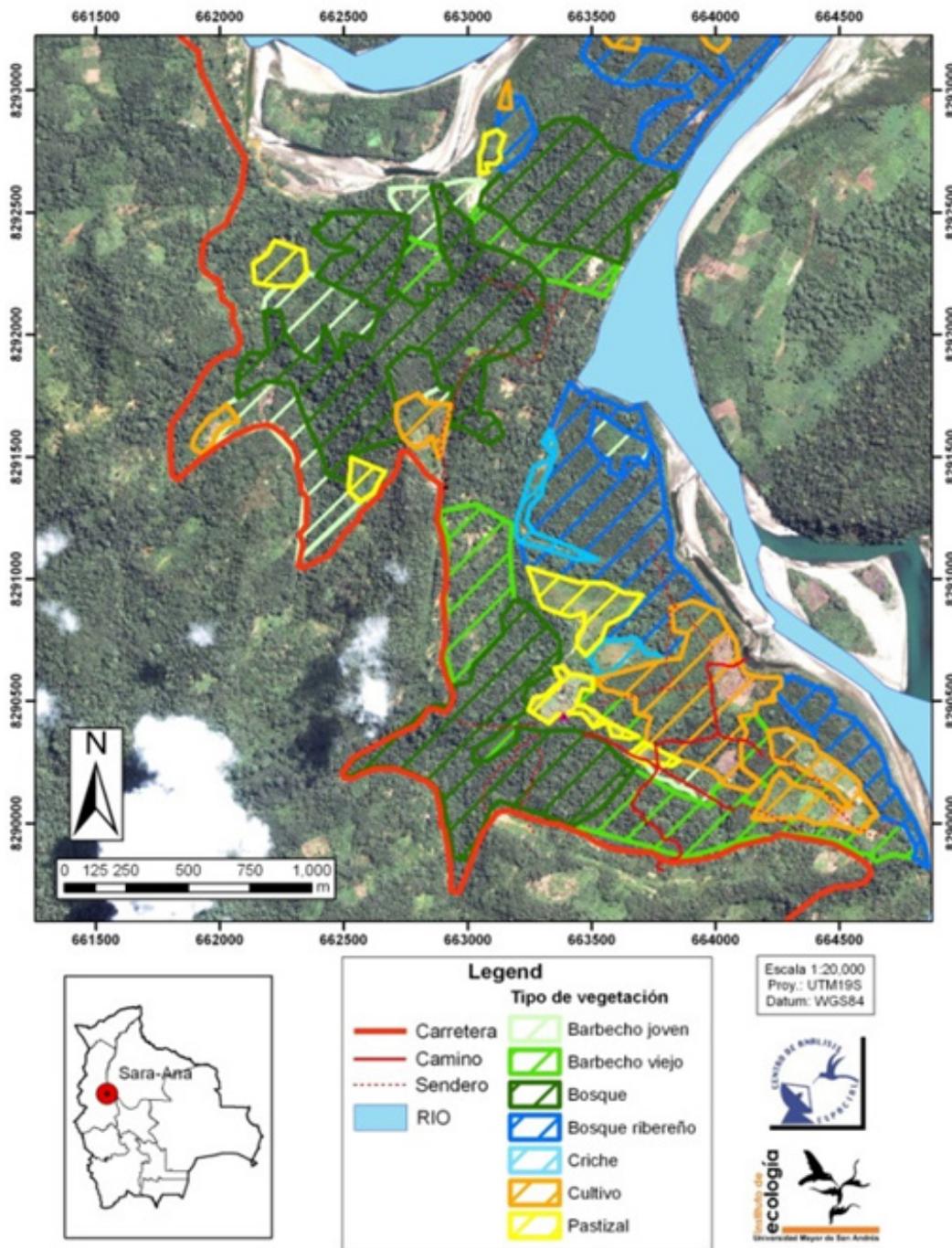


Figura 1. Ubicación de los sitios de muestreo, parcelas de ensayo Sara Ana-Alto Beni (Elab. K. Naoki, 2012).

Tabla 1. Características de la estructura de las especies en las parcelas.

Especie	N° Individuos	Dosel Serrado (%)	Promedios		Altura (m)		DAP (cm)		Promedios	
			Altura	Diametro	Min.	Max.	Min.	Max.	Largo_copa1	Largo_copa2
<i>Inga ingoides</i>	28	73	9,0	17,7	4,0	13,5	3,8	22,3	7,8	7,6
<i>inga spetabilis</i>	7	59	6,1	6,51	2,3	8,8	2,1	9,5	2,6	3,4
<i>Inga marginata</i>	5	84	9,8	14,6	7,0	11,5	7,2	18,8	8,2	6,2

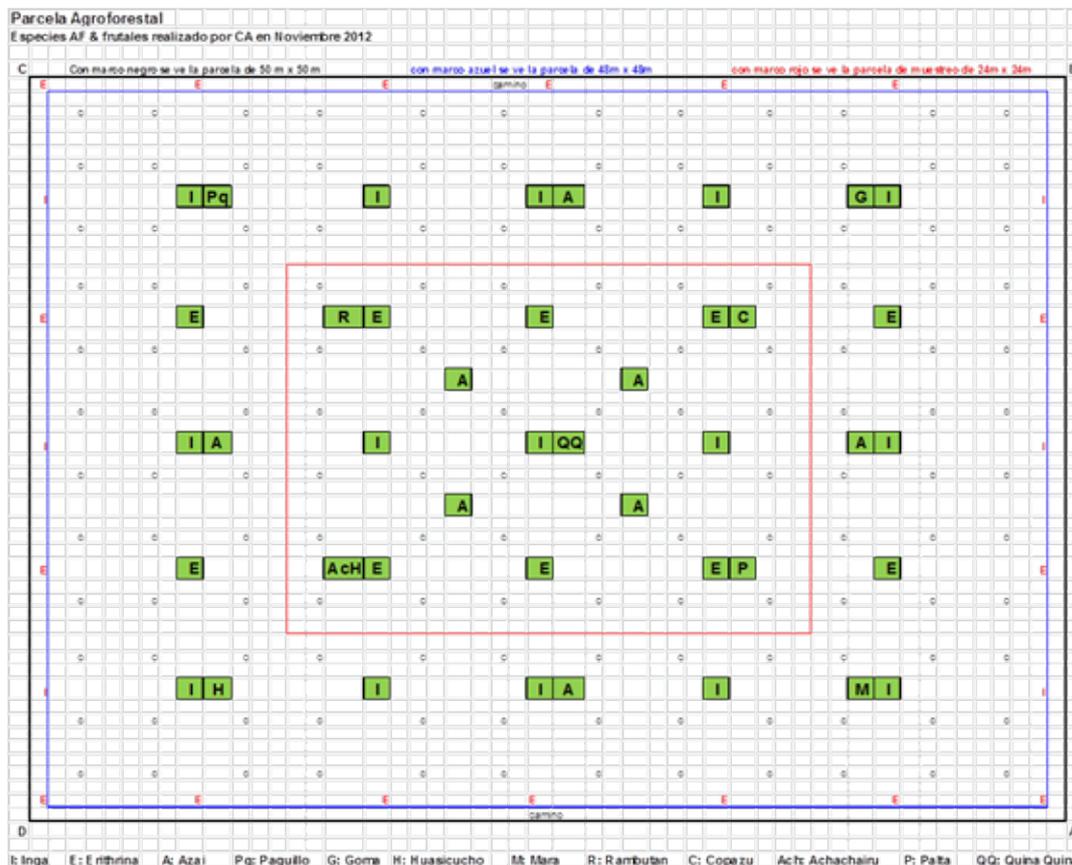


Figura 2. Croquis de una parcela agroforestal, ubicación de los forestales/frutales.

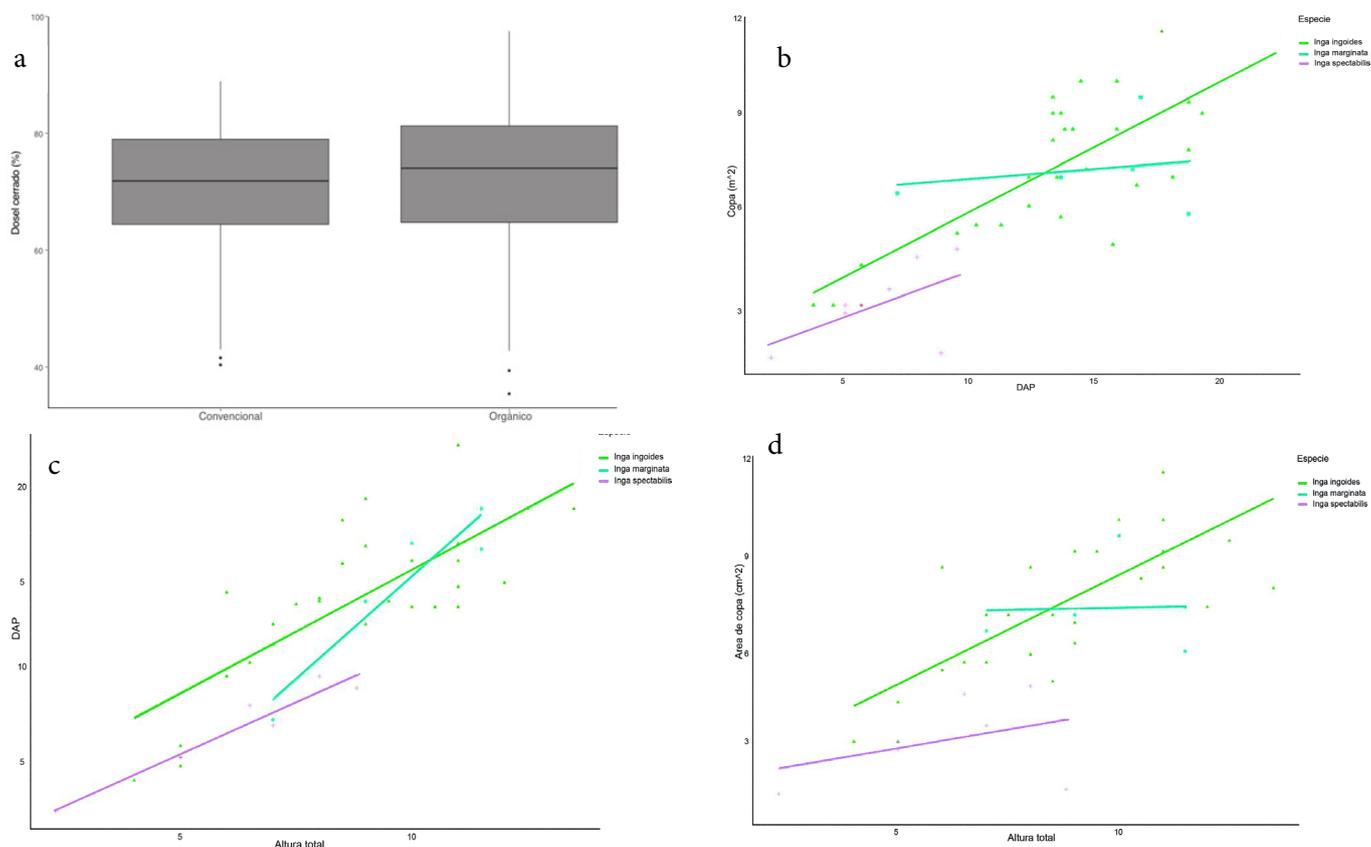


Figura 3. (a) porcentaje de dosel serrado respecto a la sombra de *Inga spp.* y (b, c y d) relación entre los caracteres morfométricos de *Inga ingoides*, *Inga marginata* e *Inga spectabilis* presentes en sistemas agroforestales orgánicos y convencionales en la estación Sara Ana, Bolivia.

Tabla 2. Relación morfométrica en tres especies de *Inga* en parcelas de producción de cacao en Sara Ana, La Paz.

Especie	Model	R2	P
<i>Inga ingoides</i>	DAP = 2,77+2,77 * altura	0,58	< 0,0001
	Copa = 2,55+0,56 * altura	0,4	< 0,0001
	Copa = 3,1 +0,32 * DAP	0,38	< 0,0001
<i>Inga marginata</i>	DAP = -7,6+2,26 * altura	0,85	0,016
	Copa = 6,96+0,2 * altura	-0,33	0,95
	Copa = 6,32+0,06*DAP	-0,3	0,74
<i>Inga spectabilis</i>	DAP = -0,45+1,14 * altura	0,91	<0,0001
	Copa = 1,6+0,23 * altura	-0,01	0,38
	Copa = 1,2+0,3 * DAP	0,18	0,18

Discusión

El género *Inga* es un grupo con alta diversidad de especies en Perú (91 especies), Ecuador (75 especies) y Bolivia (81 especies) (Pennington 1997). *Inga* es un género económicamente importante y las especies son comúnmente empleadas en sistemas agroforestales tropicales porque proveen sombra, enriquecen los suelos y son fuente de leña y frutos comestibles (Pennington 1997).

Los resultados de este estudio mostraron que *Inga* puede ser utilizada como especies acompañantes para generar sombra. La selección de la especie también está sujeta a los requerimientos de sombra de las plantas de *T. cacao*. Por ejemplo, los árboles de *I. ingoides* e *I. marginata* poseen amplias copas y podrían ser usados preferencialmente para promover el crecimiento de plántulas de *T. cacao*. En contraste, los árboles de *I. spectabilis* podrían ser plantados en parcelas que poseen árboles adultos de *T. cacao*, cuyo requerimiento de sombra es comparativamente menor.

En este estudio no encontramos diferencias significativas en la proporción de sombra entre las parcelas bajo un sistema de manejo convencional y un sistema de manejo orgánico. Los resultados sugieren que el vigor de las especies *Inga* podría ser que no está afectada por la aplicación de agroquímicos en las parcelas con manejo convencional. Resaltamos la importancia de *Inga* para los sistemas agroforestales porque posee la capacidad de fijar nitrógeno en el suelo y transformarlo en un macronutriente disponible para las plantas de *T. cacao*. Todas las especies de *Inga* producen nódulos en las raíces los cuales contienen bacterias fijadoras de nitrógeno hongos micorrízicos (Valle 2019).

La fijación de nitrógeno provee abono orgánico con alto contenido de nitrógeno, así como de otros nutrientes, y las asociaciones con micorrizas probablemente permiten a la planta *Inga* reciclar el fósforo, uno de los mayores nutrientes limitados en el ecosistema del bosque tropical lluvioso (Valle 2019). Campos (2015) estudió la eficacia de sombra en 6 especies de *Inga* spp. Encontrando que

la *I. spectabilis* tiene la mejor eficacia de sombra para el cacao, lo cual se vuelve a comprobar en este estudio. La cantidad de luz recibida en los cultivos de *T. cacao* está relacionada directamente con la cobertura del dosel y esta tiene impactos importantes en el crecimiento de *T. cacao*. Por ejemplo, estudios realizados por Schneider *et al.* (2016) mostraron que los árboles de *T. cacao* que crecen conjuntamente con *Musa paradisiaca* tienden a crecer en altura y desarrollar troncos delgados, *T. cacao* desarrolla troncos más gruesos después de una poda drástica de dosel.

Esto sugiere que las plantas invierten energía para desarrollarse en altura para poder alcanzar el dosel, pero invierten en desarrollar un tronco más grueso cuando la luz deja de ser un factor limitante. Este estudio resalta la importancia de seleccionar especies acompañantes generadoras de sombra que se adecuen a las necesidades biológicas de *T. cacao* y a los requerimientos para la optimización de la producción de sombra.

Económicamente los árboles de *T. cacao* gruesos y pequeños son preferidos porque son más fáciles de podar y cosechar y no se requiere herramientas especializadas y exponen mayor peligro para el productor en el manejo. Por otro lado, la caída de árboles altos puede producir daños a los individuos cercanos, afectando la productividad de las parcelas de producción (Meléndez 1991). En este estudio resaltamos la importancia de las especies de *Inga* porque incluyen árboles de porte mediano, crecimiento relativamente rápido y con poder de prendimiento y rebrote. La poda selectiva de individuos de *Inga* favorece a la producción de cacao porque los residuos del follaje pueden proveer nutrientes adicionales al suelo (Schneidewind *et al.* 2019).

Dávila (2014) muestra que la diversidad de especies maderables y frutales utilizadas en los SAFs de cacao en el sur-occidente de Guatemala es determinante en el almacenamiento de carbono en la biomasa aérea, puesto que la capacidad de captura de carbono está asociada con el tamaño y edad de los árboles. Otro factor importante

para el empleo de especies acompañantes, así los árboles de desarrollo más rápido donde alcanzan un diámetro y altura mayor en más corto tiempo seguro resultarán más útiles para el incremento de secuestro de carbono: Así, *Inga ingoides* con su desarrollo dasométrico más rápido sería una de las especies óptimas reforzando la razón de su empleo en parcelas con sistemas agroforestales.

Conclusiones

Este estudio resalta la importancia del empleo de especies de *Inga* para generar sombra y promover el crecimiento y producción de *T.cacao*. La apertura del porcentaje de dosel entre parcelas bajo manejo convencional y parcelas orgánicas fue similar, sugiriendo que la aplicación de agroquímicos en las parcelas convencionales no afectaría de forma significativa a la vitalidad de los árboles de *Inga*. El análisis morfométrico de tres especies de *Inga* (*I. ingoides*, *I. marginata* e *I. spectabilis*) mostró diferencias intraespecíficas, donde *I. marginata* e *I. ingoides* poseen copas más amplias en comparación a *I. spectabilis*. Estos resultados sugieren que la selección de especies de *Inga* depende del tipo de manejo y los requerimientos de luz de las plantas de cacao.

Bibliografía

Álvarez-Carrillo, F., J. Rojas-Molina & J.C. Suárez Salazar. 2012. Simulación de arreglos agroforestales de cacao como una estrategia de diagnóstico y planificación para productores. *Rev. Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*. 13(2), 145-150.

Beer, J., Harvey, C., Ibrahim, M., Harmand, J.M., Somarriba, E & Jiménez F. 2003. Servicios ambientales de los sistemas agroforestales. *Agroforestería en las Américas*. Vol. 10 N° 37-28 2003. CATIE, Turrialba, Costa Rica.

Campos, C., 2015. Eficacia de sombra de las especies acompañantes (*Inga* spp.) en los sistemas agroforestales de cultivos de cacao (*Theobroma cacao*) y evaluación del nivel adaptativo de los agricultores en la región Alto Beni-Bolivia.

Tesis de Maestría, Universidad Internacional de España (UNIA), España. Campos C, R Seidel, N. Chapi, S. Paredes, O. Plata & V. Torrez. 2019. Características de la vegetación leñosa del bosque de Sara Ana, Alto Beni. Informe.

Dávila, H. 2014. Estimación de la cantidad de carbono almacenado en los sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao*), en los departamentos de Suchitepequez, y Retalhuleu, del sur occidente de Guatemala. C. A. Tesis de grado. Universidad San Carlos de Guatemala, Guatemala.

Ibisch, P.L., S.G. Beck, B. Gerkmann & A. Carretero, 2003. Ecoregiones y ecosistemas. En: Ibisch, P.L. & G. Mérida (eds.) 2003. Biodiversidad: La riqueza de Bolivia. Estado de conocimiento y conservación. Ministerio de Desarrollo Sostenible. Editorial FAN, Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. Pp. 47-88.

Lizca, J.L. & F. Zapata, 2006. Cuantificación geográfica y evaluación de los suelos para los cultivos de cacao en la región de Alto Beni de los Yungas de La Paz. Proyecto GLEAM-Sistema de Evaluación y Administración Integrada del Uso de la Tierra. La Paz.

López S., Sol-Sánchez A., Córdova V., & F. Gallardo, 2016. Efecto de la poda en plantaciones de cacao en el estado de Tabasco, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. México, N°14.2807- 2815.

Meléndez, L., 1991. Sombras temporales para el cacao. Seminario

Regional Sombra y cultivos asociados con cacao. Serie Técnica, Informe Técnico. CATIE 206. Turrialba, Costa Rica.

Navarro, G., 2011. Clasificación de la vegetación de Bolivia. Centro de Ecología Difusión Simón I. Patiño. Santa Cruz, Bolivia.

Consuelo Campos Villanueva, Alejandra Domic, Renate Seidel, Wiebke Niether & Monika Schneider Schneider, M., C. Andres, G. Trujillo, F. Alcon, E. Amurrio, E. Perez, F Weibel, F. & J. Milz, 2016. Cocoa and total system yields of organic and conventional agroforestry vs. monoculture systems in a long-term field trial in Bolivia. *Experimental Agriculture*, 53 (3): 351-374.

SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología) 2019. SisMet: base de datos oficial del SENAMHI. <http://www.senamhi.gov.bo/sismet/index.php>. Consultado el 19 de septiembre de 2019.

Tschamtko, T., Clough, Y., Bhagwat, S.A., Buchori, D., Faust, H., Hertel, D., Hölscher, D., Jührbandt, J., Kessler, M., Perfecto, I., Scherber, C., Schroth, G., Veldkamp, E., Wanger, T.C., 2011. Multifunctional shade-tree management in tropical agroforestry landscapes – a review. *Journal of Applied Ecology* 48: 619–629.

Valle, G. 2019. Manual agroforestal del *Inga* (*Inga edulis*). Rainforest Saver. <https://www.rainforestsaver.org/es/manual-agroforestal-del-inga>

Willkes H, 2006. Guía metodológica para la implementación, el Manejo y el Aprovechamiento de Sistemas Agroforestales. Servicio Alemán de Cooperación Social Técnica. CENFOTEC Industrial. La Paz, Bolivia

Nicholls C.I. & M.A. Altieri, 2013. Agroecología y cambio climático. Metodologías para evaluar la resiliencia socioecológica en comunidades rurales. Red Adscrita al Programa Iberoamericano de Ciencia y tecnología para el Desarrollo (CYTED). Perú.

Niether, W., L. Armengot, C. Andres & M. Schneider, 2017. Modifying microenvironmental growing conditions for the cacao tree by shade tree pruning. *International Symposium on Cocoa Research (ISCR)*, Lima, Perú.

Niether, W., Schneidewind, U., Fuchs, M., Schneider, M., Armengot, L. 2019. Belowground aboveground production in cocoa monocultures and agroforestry systems. *Science of the Total Environment* 657: 558-567.

Ortiz A. & L. Riascos. 2003. Almacenamiento y fijación de carbono de Sistemas Agroforestal cacao (*Theobroma cacao*) y laurel (*Cordia alliodora*) en la Reserva Indígena de Talamanca, Costa Rica. CATIE, Costa Rica.

Pennington, T.D. & C. Reynel, 1997. El género *Inga* en el Perú. Morfología, distribución y usos. Royal Botanical Gardens. Kew, Inglaterra. Programa Gap Light analyzer: <http://remmain.rem.sfu.ca/downloads/Forestry/GLAV2UsersManual.pdf>

R Foundation for statistical computing 2018. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL: <http://www.R-project.org/>.

Sáenz, R. J. T.; González T. J. A.; Jiménez O. J.; Larios G. A.; Gallardo V. M.; Villaseñor R.F. J. e Ibáñez R. C. 2010. Alternativas agroforestales para reconversión de suelos forestales. Folleto Técnico Núm. 18. SAGARPA-INIFAP-CIRPAC. Campo Experimental Uruapan. Uruapan, Michoacán, México.