



FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES
CARRERA PROFESIONAL DE
INGENIERÍA AGROFORESTAL

“CLASIFICACIÓN DE ESPECIES ARBÓREAS EN SISTEMAS
AGROFORESTALES DE CAFÉ BAJO SOMBRA EN
LATINOAMÉRICA”

Trabajo de investigación para optar el grado
académico de: Bachiller en Ingeniería Agroforestal

Presentado por:

Jairo Bruno Muñoz Medrano (0000-0003-2000-3885)

Everth Joseph Huaman Loayza (0000-0001-9799-6032)

Merygim Milagros Arevalo Quispe (0000-0003-1620-3921)

Asesor:

Daniel Encarnación Chávez Bocanegra (0000-0002-7738-8088)

Lima – Perú

2021

ACTA DE EVALUACIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN N° 001-DACIA-DAFCA-U.CIENTÍFICA-2021 PARA OBTAR EL GRADO ACADÉMICO DE BACHILLER EN INGENIERIA AGROFORESTAL DE LA UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Lima, 24 de julio del 2021

Los miembros revisores estuvieron presentes para la evaluación del trabajo de investigación titulado:

“CLASIFICACIÓN DE ESPECIES ARBÓREAS EN SISTEMAS AGROFORESTALES DE CAFÉ BAJO SOMBRA EN LATINOAMÉRICA”

Presentado por el estudiante:

- Merygim Milagros Arevalo Quispe
- Everth Joseph Huaman Loayza
- Jairo Bruno Muñoz Medrano

Asesorado por:

- Mg. Daniel Encarnación Chávez Bocanegra

Revisado por:

- Mg.Sc. José Guillermo Giacomotti Tuezta
- Mg. Santiago Hilarion Pastor Soplin

Luego de haber evaluado el trabajo de investigación y desempeño de los estudiantes en la sustentación, se da por:

- Aprobado (X)
- Desaprobado ()

Se firma la presente acta en señal de conformidad.



**Mg. Daniel Encarnación Chávez
Bocanegra**
Asesor de trabajo de Investigación



**Mg.Sc. José Guillermo Giacomotti
Tuezta**
Revisor 1



**Mg. Santiago Hilarion Pastor
Soplin**
Revisor 2

ÍNDICE

RESUMEN.....	1
INTRODUCCIÓN.....	2
METODOLOGÍA.....	3
RESULTADOS.....	4
DISCUSIONES.....	10
CONCLUSIONES.....	11
REFERENCIAS	
BIBLIOGRÁFICAS.....	12

RESUMEN

El cultivo de café bajo la sombra de especies forestales es muy difundido en Latinoamérica, siendo los árboles esenciales en la productividad de estos sistemas agroforestales. En el presente estudio se realizó una compilación bibliográfica empleando diferentes bases de datos para clasificar las especies arbóreas utilizadas como sombra para café. El objetivo de esta investigación fue identificar cuáles son las especies arbóreas más usadas en los sistemas agroforestales con café en Latinoamérica, además de los beneficios que estas otorgan.

Para la realización de este documento se utilizó la metodología de sistematización, usando diferentes bases de datos como Scopus, Scielo, Dialnet, Sciencedirect, Springer y Elseviers. El procedimiento de búsqueda dio lugar a 125 documentos a nivel mundial y sólo se consideraron 31 artículos de Latinoamérica para la revisión sistemática, ya que se aplicó los criterios de inclusión, exclusión y codificación de resultados.

En los artículos de Latinoamérica podemos evidenciar que en cada país existe un predominio o mayor empleo de especies consideradas como maderables, sean nativas o introducidas, en comparación a las especies no maderables. Según la sistematización realizada en base a las investigaciones revisadas, México es el país que muestra una mayor diversidad de especies arbóreas (maderables y no maderables) incluidas en los sistemas agroforestales de café bajo sombra, en relación a los otros países latinoamericanos. Se concluye que las especies forestales en los sistemas de café bajo sombra, otorgan beneficios como una capacidad de sombrero, generación de biomasa, almacenamiento de carbono, aumentan la diversidad biológica y la fijación de nitrógeno.

Palabras clave: Agroforestería, cultivo de café, árboles de sombra, especies forestales.

ABSTRACT

The cultivation of coffee under the shade of forest species is very widespread in Latin America, being the essential trees in the productivity of these agroforestry systems. In the present study, a bibliographic compilation was carried out using different databases to classify the tree species used as shade for coffee. The objective of this research was to identify the tree species most used in agroforestry systems with coffee in Latin America, in addition to the benefits they provide.

To carry out this document, the systematization methodology was used, using different databases such as Scopus, Scielo, Dialnet, Sciencedirect, Springer and Elseviers. The search procedure gave rise to 125 documents worldwide and only 31 articles from Latin America were considered for the systematic review, since the inclusion, exclusion and coding of results criteria were applied.

In the articles from Latin America we can see that in each country there is a predominance or greater use of species considered timber, whether native or introduced, compared to non-timber species. Being Mexico the country that presents a greater diversity of tree species in agroforestry systems with coffee in relation to other Latin American countries. It is concluded that forest species in shade-grown coffee systems provide benefits such as shading capacity, biomass generation, carbon storage, source of biological diversity, and nitrogen fixation.

Keywords: Agroforestry, coffee cultivation, shade trees, forest species.

INTRODUCCIÓN

El café es un cultivo con una gran importancia a nivel mundial debido a su valor comercial en distintos mercados internacionales, por esta razón se ha convertido en uno de los principales productos agrícolas en muchos países. Siendo cultivado principalmente en regiones tropicales, las cuales abarcan más de 80 países, sin embargo sólo 50 países exportan café bajo diferentes estándares de calidad, según su procedencia y manejo (Canet et al., 2016).

En América Latina, el café es uno de los cultivos más importantes, siendo las principales zonas altitudinales de producción cafetalera las que se ubican en el piedemonte y las regiones montañosas. Su producción se realiza en pequeñas áreas agrícolas, así como en

áreas de grandes extensiones, donde algunos cultivos se desarrollan bajo sistemas agroforestales, los cuales permiten brindar sombrío y mejorar la calidad del café, además de generar múltiples servicios ambientales (Ramírez, 2005).

La deforestación en zonas tropicales genera impactos negativos en los recursos naturales, entre ellos: la erosión de los suelos, pérdida de la diversidad biológica, y menor captación de agua. Debido a esto es importante la incorporación de especies forestales en los sistemas de producción, aplicando prácticas agroforestales que permitan mejorar y conservar la diversidad biológica (Roman, Mora & Gonzales, 2016). Adicional a esto, las especies arbóreas generan un valor agregado debido a que producen madera, leña, frutos y/o el pago por los servicios ambientales (Moraga et al., 2012).

En los últimos años hay un mayor consumo de alimentos provenientes de sistemas productivos con manejo sostenible, por esta razón hay un aumento de la demanda del café orgánico (Hernández et al., 2012). El cual se produce mayormente mediante sistemas de producción bajo sombra, lo que requiere el uso de especies arbóreas con diferentes fines (Moreira & Castro, 2017).

El presente trabajo tiene como propósito identificar las especies arbóreas más usadas en los sistemas de café bajo sombra en Latinoamérica. De esa manera podremos generar información necesaria sobre los aspectos funcionales de estas especies plantadas en sistemas de café bajo sombra, para lograr el aprovechamiento de los sistemas productivos de café desde el punto de vista económico y ecológico.

MATERIALES Y MÉTODOS

Obtención de la información

El siguiente estudio se basó en la metodología de sistematización, la cual consistió en la revisión de artículos de diferentes países a nivel mundial y se introdujo una restricción de intervalo de búsqueda entre los años 2015 y 2020, para obtener una información más actualizada. Esta búsqueda se realizó en diferentes bases de datos como Scopus, Scielo, Dialnet, Scencedirect, Springer y Elsevier. Para lo cual se consideraron los términos de búsqueda: “sistemas productivos de café, agroforestería de café”.

Criterios de inclusión y exclusión

En el siguiente estudio se consideraron los criterios de inclusión y exclusión, donde nuestra primera búsqueda se apertura a todos los artículos publicados en todas las plataformas mencionadas, en este primer tamizado se tomaron en cuenta sólo artículos cuyo estudio fue hecho en los países de Latinoamérica, posteriormente se excluyeron los artículos que no mencionan el género de la especie arbórea asociada al cultivo de café.

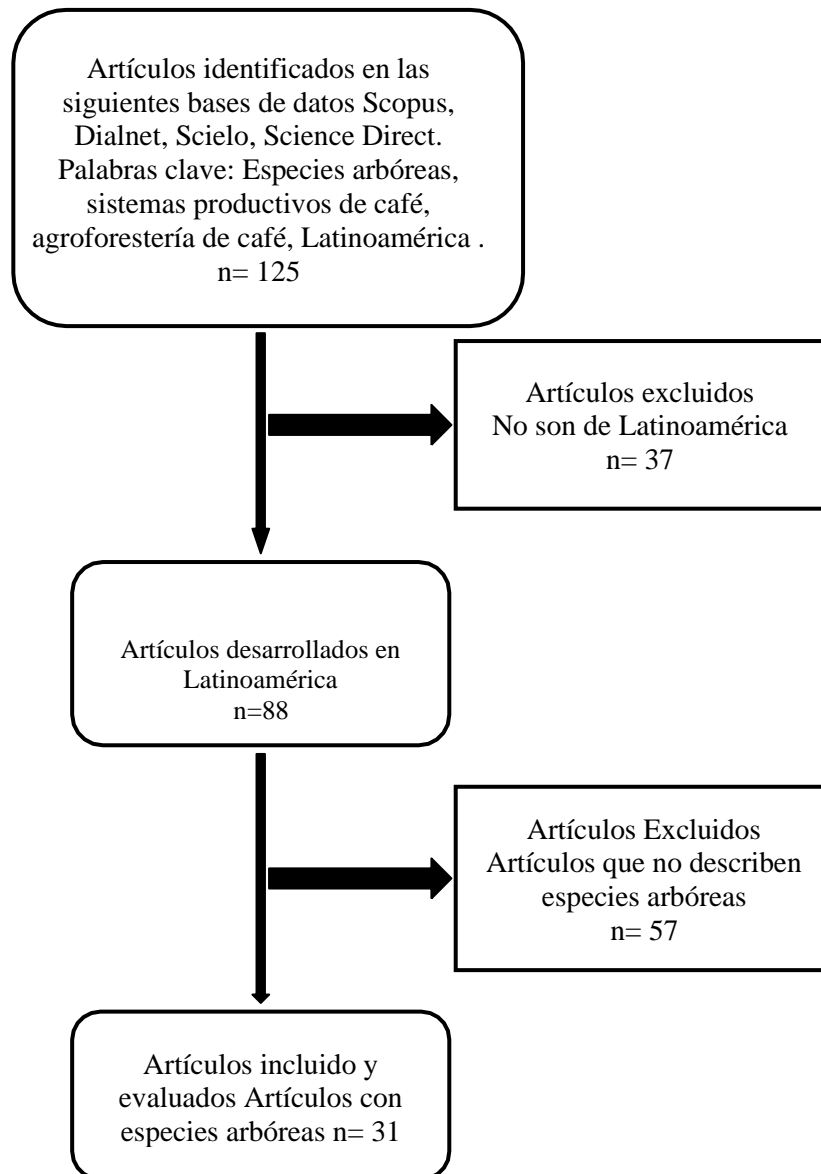
Codificación de los resultados

Los estudios se sintetizaron en tablas, donde se desglosó la información en lo siguiente: Título, lugar donde se realizó el estudio, año de publicación, género/especie y nombre de la revista; relacionado con la clasificación de especies arbóreas en los sistemas productivos de café bajo sombra en Latinoamérica.

RESULTADOS

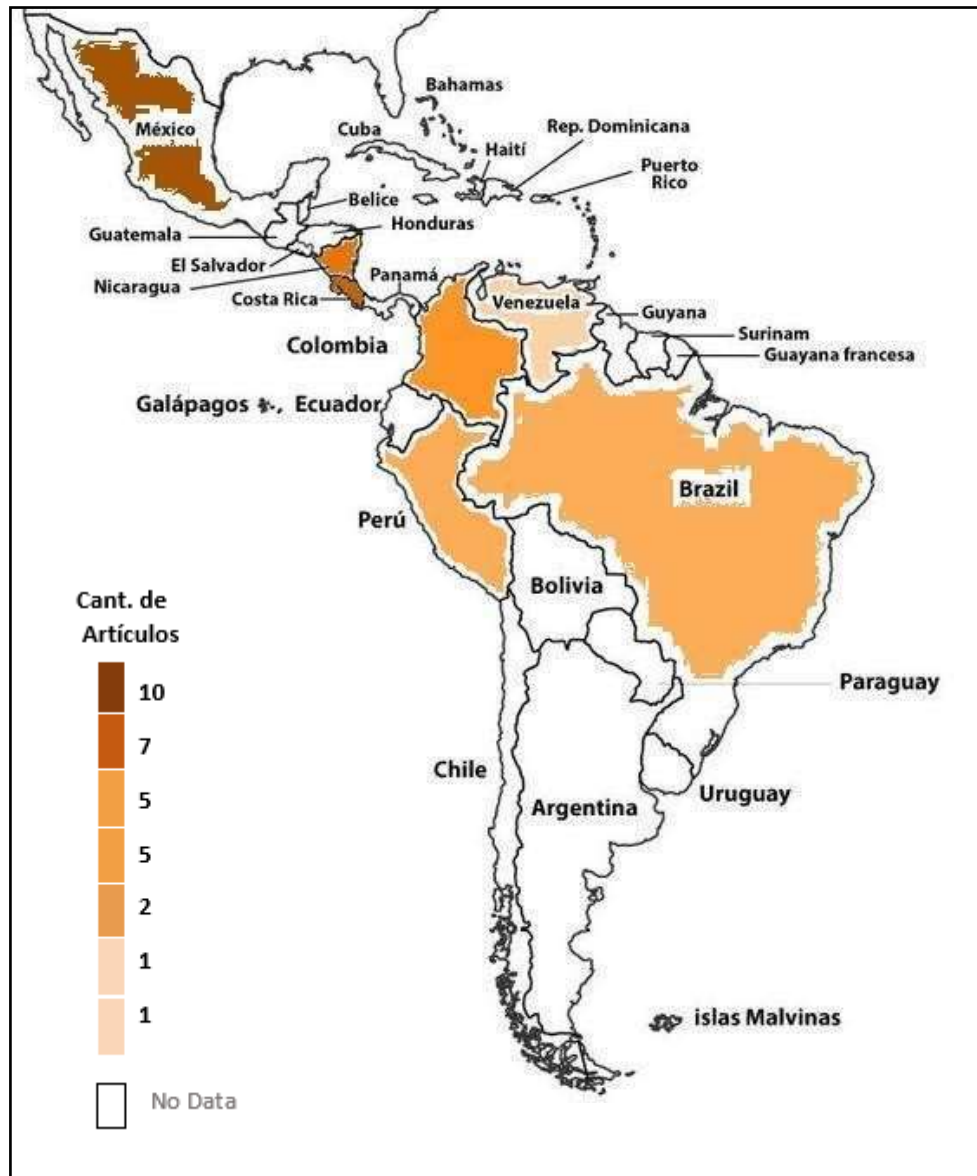
El método de búsqueda dio lugar a 125 documentos sobresalientes, posteriormente se aplicaron criterios de inclusión y exclusión, de los cuales 31 se consideraron para la revisión sistemática. En la figura 1 se presenta el flujograma del proceso de selección de los estudios.

FLUJOGRAMA DEL PROCESO DE SELECCIÓN DE ESTUDIOS



Los artículos fueron desarrollados en diversos países de Latinoamérica como México, Costa Rica, Colombia, Brasil, Nicaragua, Perú y Venezuela, donde se realiza la producción de café bajo sombra con especies arbóreas.

UBICACIÓN DE LOS ESTUDIOS DE LA PRODUCCIÓN DE CAFÉ BAJO SOMBRA CON ESPECIES ARBÓREAS



México presentó la mayor cantidad de artículos publicados en referencia a las especies arbóreas usadas como sombra en comparación con otros países de Latinoamérica. Además, cada país se diferenció en el uso de especies nativas, ya que cada lugar cuenta con distinta diversidad biológica.

Tabla 1

Especies arbóreas más usadas en México y su beneficio en los sistemas agroforestales de café.

Especies arbóreas	Clasificación	Beneficio en los sistemas agroforestales de café	Especie nativa
<i>Cordia alliodora</i>	Maderable	Sombrío y diversidad	Si
<i>Bursera simaruba</i>	Maderable	Sombrío	Si
<i>Inga vera</i>	No maderable	Sombrío y fijación de nitrógeno	Si
<i>Myriocarpa longypes</i>	Maderable	Sombrío	Si
<i>Cedrela odorata</i>	Maderable	Sombrío y diversidad biológica	Si
<i>Quercus robur</i>	Maderable	Sombrío	Si
<i>Acrocarpus fraxinifolius</i>	Maderable	Sombrío	Si
<i>Inga jinicuil</i>	No maderable	Sombrío y fijación de nitrógeno	Si
<i>Erythrina poeppigiana</i>	No maderable	Sombrío y fijación de nitrógeno	Si
<i>Juglans pyriformis</i>	Maderable	Sombrío y diversidad biológica	Si
<i>Mimosa scabrella</i>	No maderable	Sombrío	Si
<i>Azadirachta indica</i>	Maderable	Sombrío	Si
<i>Schizolobium parahyba</i>	No maderable	Sombrío	Si
<i>Tabebuia rosea</i>	Maderable	Diversidad y sombrío	Si
<i>Dendropanax arboreus</i>	Maderable	Diversidad y sombrío	Si
<i>Diphysa americana</i>	Maderable	Diversidad y sombrío	Si
<i>Calophyllum brasiliense</i>	Maderable	Diversidad y sombrío	Si
<i>Ocotea helicterifolia</i>	No maderable	Diversidad y sombrío	Si
<i>Guarea glabra</i>	Maderable	Diversidad y sombrío	Si
<i>Ocotea puberula</i>	Maderable	Diversidad y sombrío	Si

Tabla 2

Especies arbóreas más usadas en Costa Rica y su beneficio en los sistemas agroforestales de café.

Especies arbóreas	Clasificación	Beneficio en los sistemas agroforestales de café	Especie nativa
<i>Erythrina poeppigiana</i>	No maderable	Sombrío y fijación de nitrógeno	Si
<i>Eucalyptus deglupta</i>	Maderable	Sombrío	No
<i>Terminalia ivorensis</i>	Maderable	Sombrío	Si
<i>Terminalia amazonia</i>	Maderable	Sombrío	Si
<i>Chloroleucon eurycyclum</i>	No maderable	Sombrío	Si
<i>Cedrela odorata L.</i>	Maderable	Sombrío y diversidad	Si
<i>Cordia alliodora.</i>	Maderable	Sombrío y diversidad	Si

Tabla 3

Especies arbóreas más usadas en Colombia y su beneficio en los sistemas agroforestales de café.

Especies arbóreas	Clasificación	Beneficio en los sistemas agroforestales de café	Especie nativa
<i>Citrus sinensis</i>	No maderable	Sombrío y almacenamiento de carbono.	No
<i>Inga edulis</i>	No maderable	Sombrío y fijación de nitrógeno	Si
<i>Cordia alliodora</i>	Maderable	Sombrío y diversidad	Si
<i>Inga codonantha</i>	No maderable	Sombrío y fijación de nitrógeno	Si
<i>Erythrina spp.</i>	No maderable	Sombrío y fijación de nitrógeno	Si
<i>Inga sp.</i>	No maderable	Sombrío y fijación de nitrógeno	Si
<i>Pinus sylvestris</i>	Maderable	Sombrío	No
<i>Acrocarpus fraxinifolius</i>	Maderable	Sombrío	No
<i>Albizia carbonaria</i>	Maderable	Fijación de nitrógeno y almacenamiento de carbono	Sí
<i>Eucalyptus deglupta</i>	Maderable	Sombrío	No
<i>Terminalia ivorensis</i>	Maderable	Biomasa y sombrío	No
<i>Inga laurina</i>	No maderable	Sombrío y fijación de nitrógeno	Si
<i>Albizia carbonaria</i>	Maderable	Biomasa y almacenamiento de carbono	Si

Tabla 4

Especies arbóreas más usadas en Brasil y su beneficio en los sistemas agroforestales de café.

Especies arbóreas	Clasificación	Beneficio en los sistemas agroforestales de café	Especie nativa
<i>Gliricidia sepium</i>	No maderable	Productividad	Si
<i>Inga edulis</i>	No maderable	Sombrío y fijación de nitrógeno	Si

Tabla 5

Especies arbóreas más usadas en Nicaragua y su beneficio en los sistemas agroforestales de café

Especies arbóreas	Clasificación	Beneficio en los sistemas agroforestales de café	Especie nativa
<i>Inga spp.</i>	No maderable	Sombrío y fijación de nitrógeno	Si
<i>Inga laurina</i>	No maderable	Sombrío y fijación de nitrógeno	Si
<i>Samanea saman</i>	No maderable	Sombrío y biomasa	Si
<i>Simarouba glauca</i>	No maderable	Sombrío y biomasa	Si
<i>Tabebuia rosea</i>	Maderable	Sombrío y biomasa	No

Tabla 6

Especies arbóreas más usadas en Perú y su beneficio en los sistemas agroforestales de café.

Especies arbóreas	Clasificación	Beneficio en los sistemas agroforestales de café	Especie nativa
<i>Inga spp.</i>	No maderable	Sombrío y fijación de nitrógeno	Si
<i>Eucalyptus sp.</i>	Maderable	Sombrío	No
<i>Pinus sp.</i>	Maderable	Sombrío	No
<i>Retrophyllum rospigliosii</i>	Maderable	Sombrío	Si
<i>Eucalyptus torreliana</i>	Maderable	Sombrío	No
<i>Colubrina glandulosa</i>	Maderable	Sombrío	Si
<i>Pinus tecunumanii</i>	Maderable	Sombrío	No

Tabla 7

Especies arbóreas más usadas en Venezuela y su beneficio en los sistemas agroforestales de café.

Especies arbóreas	Clasificación	Beneficio en los sistemas agroforestales de café	Especie nativa
<i>Samanea saman</i>	Maderable	Sombrío y fijación de nitrógeno	Si
<i>Samanea guachapele</i>	Maderable	Sombrío y fijación de nitrógeno	Si
<i>Gliricidia sepium</i>	Maderable	Fijación de nitrógeno	Si
<i>Cassia moschata</i>	No Maderable	Fijación de nitrógeno	No
<i>Pachira quinata</i>	Maderable	Sombrío	No

DISCUSIONES

En la sistematización realizada México presenta el mayor número de publicaciones, registrando la más alta diversidad de especies arbóreas plantadas con café bajo sombra. Se conoce que este país es el primer productor de café orgánico a nivel mundial, pero hay países como Brasil y Colombia que son los mayores productores de café convencional en Latinoamérica (Canet et al., 2016).

Tanto en Colombia como en Perú se presentan sistemas agroforestales con especies introducidas del género *Eucalyptus* y *Pinus*, las cuales son importantes por presentar rápido crecimiento y turnos de aprovechamiento más cortos, los cuales las hacen financieramente accesible para los agricultores, al tener otra fuente de ingreso (White y Martin, 2002).

En el Perú los árboles maderables de sombra son una buena fuente de ahorro económico para los productores de café, por tanto se valora plantar especies arbóreas introducidas como el *Eucalyptus sp.* o *Pinus sp.* (Ehrenbergerová et al., 2019). Sin embargo, el uso de especies introducidas tienen efectos adversos en el sistema de café, como la acidificación, alelopatía, acumulación de exudados tóxicos, hospederos de plagas y patógenos que podrían afectar la rentabilidad del caficultor (Mendiota y Rocha, 2007).

Los resultados indican que en México se plantan especies forestales con fines de sombra, maderable y fijación de nitrógeno, las cuales influyeron en el aumento de la diversidad biológica de los sistemas agroforestales de café. La FAO (2015) menciona que las especies arbóreas además de brindar sombra, proveen ingresos económicos a través del aprovechamiento de la madera, también favorecen a la preservación del medio ambiente y muchas de ellas mejoran la fertilidad del suelo en los sistemas agroforestales.

Se observa que en Costa Rica las especies forestales en su mayoría son maderables, favoreciendo el sombrío y la diversidad biológica, esto debido al porte de la copa de los árboles. Fueron reportadas en la literatura como especies de alto valor para la conservación de aves, proveyéndoles un hábitat adecuado (CONABIO, 2000).

En Colombia las especies forestales más predominantes fueron las pertenecientes al género *Inga*, estas influyeron positivamente aportando biomasa, sombrío y fijación de nitrógeno al sistema agroforestal. Cabe destacar que las especies de *Inga* además de reducir la intensidad lumínica, aportan cantidades notables de residuos vegetales naturales como material de cobertura (Pérez et al., 2005).

De acuerdo al estudio realizado en Brasil, se puede ver la presencia de sólo dos especies forestales no maderables (*Gliricidia sepium* e *Inga edulis*) en los sistemas de café bajo sombra, siendo ambas de la familia Fabaceae, las cuales brindan un servicio esencial a los ecosistemas al capturar nitrógeno de la atmósfera y fijarlo al suelo, donde luego puede estar disponible para otras plantas (Xu et al., 2020). Actualmente en Brasil existe una gran discusión sobre la producción de café en estos sistemas bajo sombra, debido al manejo convencional que mayormente realizan y se necesita mayor conocimiento sobre el tema. Asimismo, en este país se plantan más árboles de importancia comercial, mientras que en el resto de Latinoamérica, se prefieren las especies leguminosas (Jaramillo et al., 2006).

En Nicaragua se observa que la mayoría de especies no maderables influyeron en el aporte de biomasa al suelo, en sombrío y fijación de nitrógeno, con la finalidad de recuperar suelos degradados, mejorar el rendimiento del café bajo sombra y reducir la pérdida de biodiversidad. Además mejoraron positivamente el microclima del cultivo y enriquecieron el suelo fijando nitrógeno (Beer et al., 1998).

En cambio, en Venezuela las especies forestales plantadas en gran parte son maderables e influyeron en el sombrío y fijación de nitrógeno. Al respecto, Solórzano y Querales (2010) señalan que la mayoría de los cultivos cafetaleros en este país se encuentran bajo árboles de sombra salvo algunos casos a plena exposición solar.

Los resultados encontrados, indican que existen especies nativas maderables de importancia en los diversos países de Latinoamérica como *Calophyllum brasiliense*, *Cedrela odorata*, *Retrophyllum rospigliosii* y *Cordia alliodora*, las cuales forma parte de los sistemas agroforestales de café bajo sombra. Sin embargo, no generan al agricultor en la mayoría de casos un beneficio económico inmediato, pero sí mejoran la productividad del sistema y también brindan una diversidad de productos como leña, frutos y semillas (Roman, Mora & Gonzales, 2016). Además, estos sistemas generan una gama de servicios ecosistémicos, entre los que resaltan el potencial de captura de CO₂ y la capacidad para la conservación de la biodiversidad nativa (Ruiz et al., 2020).

Los diversos estudios evaluados nos muestran el empleo de especies fijadoras de nitrógeno en algunos sistemas productivos, que pertenecen a los géneros *Inga* y *Erythrina*,

las cuales cumplen un papel importante en la interacción con el suelo y con las plantas de café en términos de fertilidad. Además, son importantes ya que estos árboles fijadores de nitrógeno también mejoran la absorción de agua y la asimilación de nutrientes en el suelo (Wall & Ferrari, 2004).

CONCLUSIÓN

En los sistemas agroforestales de café bajo sombra de Latinoamérica existe un predominio en el uso de especies forestales maderables, sean nativas o introducidas, en comparación a las especies no maderables. Según la sistematización realizada en base a las investigaciones revisadas, México es el país que muestra una mayor diversidad de especies arbóreas (maderables y no maderables) incluidas en los sistemas agroforestales de café bajo sombra, en relación a los otros países latinoamericanos.

Todas las investigaciones muestran la importancia de las especies arbóreas empleadas en los sistemas agroforestales de café, las cuales otorgan beneficios a estos sistemas como: la capacidad de sombrío, generación de biomasa, almacenamiento de carbono, mayor presencia de diversidad biológica y fijación de nitrógeno.

La familia Fabaceae es la más importante en los sistemas agroforestales de café bajo sombra reportados para los países de Latinoamérica, ya que principalmente ayuda a mejorar la fertilidad del suelo, destacando las especies del género *Inga*.

Es preciso señalar que cada artículo, al tener objetivos distintos o no enfocarse en la evaluación de especies arbóreas, no nos muestran precisamente valores o cifras de los bienes y servicios generados por las especies arbóreas en los sistemas agroforestales. Debido a esto sería importante realizar estudios más detallados para determinar valores comparativos entre especies arbóreas y su influencia directa en los sistemas de café bajo sombra.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allinne, C., Savary, S., & Avelino, J. (2016). Delicate balance between pest and disease injuries, yield performance, and other ecosystem services in the complex

- coffee-based systems of Costa Rica. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 222, 1–12. doi:10.1016/j.agee.2016.02.001
- Alvarez-Alvarez, E. A., Almazán-Núñez, R. C., Gonzalez-Garcia, F., Brito-Millan, M., Mendez-Bahena, A., & Garcia-Ibanez, S. (2021). Shade coffee plantations maintain woody plant diversity and structure in a cloud forest landscape of southern Mexico. *Journal of Forestry Research*, 32, 637-648.
 - Arango, P. C. Z. (2019). Composición y estructura del dosel de sombra en sistemas agroforestales con café de tres municipios de Cundinamarca, Colombia. *Ciência Forestal*, 29(2), 685-697.
 - Blanco Sepúlveda, R., & Aguilar Carrillo, A. (2015). Soil erosion and erosion thresholds in an agroforestry system of coffee (*Coffea arabica*) and mixed shade trees (*Inga* spp and *Musa* spp) in Northern Nicaragua. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 210, 25–35. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.04.032>
 - Blanco Sepúlveda, R., & Aguilar Carrillo, A. (2015). Soil erosion and erosion thresholds in an agroforestry system of coffee (*Coffea arabica*) and mixed shade trees (*Inga* spp and *Musa* spp) in Northern Nicaragua. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 210, 25–35. doi:10.1016/j.agee.2015.04.032
 - Calvé Jarque, S., Murillo, O., Salazar, L., & C´ordoba, D. (2020). Aporte económico de la madera de cedro (*Cedrela odorata* L.) como árbol de sombra en cafetales de Pérez Zeledón, Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 17(41), 68–77. <https://doi.org/10.18845/rfmk.v17i41.5287>
 - Canet Brenes, G., Soto Viquez, C., Ocampo Thomason, P., Rivera Ramírez, J., Navarro Hurtado, A., Guatemala Morales, G., & Villanueva Rodríguez, S. (2016). La situación y tendencias de la producción de café en América Latina y El Caribe (No. IICA P31 1). IICA, San José (Costa Rica) *Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco*, AC, Guadalajara (México).
 - Cerda, R., Avelino, J., Harvey, C. A., Gary, C., Tixier, P., & Allinne, C. (2020). Coffee agroforestry systems capable of reducing disease-induced yield and economic losses while providing multiple ecosystem services. *Crop Protection*, 134, 105149.
 - Cerquera Rios, B. Y., Ramírez Durán, C. J., & Jiménez Carvajal, D. A. (2015). Competencia de nutrientes en cultivo de café (*Coffea arabica* L.) asociado bajo sistemas agroforestales. *Ingenierías & Amazonia*, 8(1), 38–47. Recuperad de

<http://www.udla.edu.co/revistas/index.php/ingenierias-y-amazonia/article/view/1094/1351>

- Christo, B. F., Olivas, D. B. L., de Oliveira Carvalho, A. H., Colodetti, T. V., de Souza Barros, V. M., das Graças Teixeira, A., & da Silva, I. T. (2021). Ecophysiological responses of coffee cultivation under different shading conditions. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 24(1).
- Correia, R. M., Andrade, R., Tosato, F., Nascimento, M. T., Pereira, L. L., Araújo, J. B., Romão, W. (2020). Analysis of Robusta coffee cultivated in agroforestry systems (AFS) by ESI-FT-ICR MS and portable NIR associated with sensory analysis. *Journal of Food Composition and Analysis*, 94, 103637.
- Criollo, H., Muñoz Belalcázar, J., & Lagos Burbano, T. C. (2020). Modelos alométricos para estimar biomasa y captura de carbono de Albizia carbonaria en la zona cafetera de Nariño. *Ciencia y Agricultura*, 17(3), 95–110. <https://doi.org/10.19053/01228420.v17.n3.2020.11384>
- Delgado Gualmatan, W. L., Navia Estrada, J. F., & Lagos Burbano, T. C. (2021). Caracterización de especies arbóreas asociadas al cultivo de café (*Coffea arabica* L.) en el sur de Colombia. *Revista Facultad de Ciencias Agropecuarias - FAGROPEC*, 12(2), 210–219. <https://doi.org/10.47847/fagropec.v12n2a4>
- Durand-Bessart, C., Tixier, P., Quinteros, A., Andreotti, F., Rapidel, B., Tauvel, C., & Allinne, C. (2020). Analysis of interactions amongst shade trees, coffee foliar diseases and coffee yield in multistrata agroforestry systems. *Crop Protection*, 133. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2020.105137>
- Ehrenbergerová, L., Šeptunová, Z., Habrová, H., Tuesta, R. H. P., & Matula, R. (2019). Shade tree timber as a source of income diversification in agroforestry coffee plantations, Peru. *Bois & Forêts des tropiques*, 342, 93-103.
- Gagliardi, S., Avelino, J., Beilhe, L. B., & Isaac, M. E. (2020). Contribution of shade trees to wind dynamics and pathogen dispersal on the edge of coffee agroforestry systems: A functional traits approach. *Crop Protection*, 130, 105071.
- García Mayoral, L. E., Valdez Hernández, J. I., Luna Cavazos, M., & López Morgado, R. (2015). Structure and diversity of arboreal vegetation in coffee agroforestry systems in Sierra de Atoyac, Veracruz. *Madera y Bosques*, 21(3), 69–82. <https://doi.org/10.21829/myb.2015.213457>
- Garza Lau, R., Maldonado Torres, R., Álvarez Sánchez, Ma. E., & Buendía Espinoza, J. C. (2020). Aporte nutrimental de especies arbóreas fijadoras de

- nitrógeno en sistemas agroforestales con café. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(4), 801–814. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i4.2465>
- Garza-Lau, R., Maldonado-Torres, R., Álvarez-Sánchez, M. E., & Torres-Rivera, J. A. (2020). Caracterización de especies arbóreas asociadas al cultivo de café. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(1), 25–32. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i1.2210>
 - Hernández Vásquez, E., Campos Ángeles, G. V., Enríquez del Valle, J. R., Rodríguez-Ortiz, G., & Velasco Velasco, V. A. (2012). Captura de carbono por Inga jinicuil Schldt: En un sistema agroforestal de café bajo sombra. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 3(9), 11-21.
 - Jaramillo-Botero, C., Martínez, E. H. P., & Santos, R. H. S. (2006). Características do café (*Coffea arabica* L.) sombreado no norte da América latina e no Brasil: análise comparativa. *Coffee Science*, 1(2), 94–102.
 - Jezeer, R. E., Santos, M. J., Boot, R. G. A., Junginger, M., & Verweij, P. A. (2018). Effects of shade and input management on economic performance of small-scale Peruvian coffee systems. *Agricultural Systems*, 162, 179–190. doi:10.1016/j.agsy.2018.01.014
 - Lagos Burbano, T. C., Vélez Lozano, J. A., & Andrade Díaz, D. (2021). Estado de la agrobiodiversidad en sistemas productivos de café del sur de Colombia. *Revista Facultad de Ciencias Agropecuarias -FAGROPEC*, 12(2), 183–193. <https://doi.org/10.47847/fagropec.v12n2a1>
 - Mayoral, G., Luis, E., Hernández, V., Juan, I., Cavazos, L., Morgado, L. (2015). Estructura y diversidad de café en la Sierra. *Madera y Bosques*, 21(3), 69–82. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61743002005>
 - Mayoral, L. E. G., Hernández, J. I. V., Cavazos, M. L., & Morgado, R. L. VI. Estructura y diversidad arbórea de cafetales bajo sistemas agroforestales: caso de la Sierra de Atoyac en la región de Córdoba. Diagnóstico, productividad y ambiente en cafetales: estudios regionales y de caso, 125.
 - Méndez, V. E., Shapiro, E. N., & Gilbert, G. S. (2009). Cooperative management and its effects on shade tree diversity, soil properties and ecosystem services of coffee plantations in western El Salvador. *Agroforestry Systems*, 76(1), 111-126.
 - Meylan, L., Gary, C., Allinne, C., Ortiz, J., Jackson, L., & Rapidel, B. (2017). Evaluating the effect of shade trees on provision of ecosystem services in

- intensively managed coffee plantations. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 245, 32–42. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.05.005>
- Milla Pino, M. E., Oliva Cruz, S. M., Leiva Espinoza, S. T., Collazos Silva, R., Gamarra Torres, O. Á., Barrena Gurbillón, M. Á., & Maicelo Quintana, J. L. (2019). Características morfológicas de variedades de café cultivadas en condiciones de sombra. *Acta Agronómica*, 68(4), 271–277. <https://doi.org/10.15446/acag.v68n4.70496>
 - Moreira, S. L. S., Pires, C. V., Marcatti, G. E., Santos, R. H. S., Imbuzeiro, H. M. A., & Fernandes, R. B. A. (2018). Intercropping of coffee with the palm tree, macauba, can mitigate climate change effects. *Agricultural and Forest Meteorology*, 256–257, 379–390. doi:10.1016/j.agrformet.2018.03.026
 - Moreno-Guerrero, V., Ortega-Baranda, V., Sánchez-Bernal, E. I., Nieto-Castañeda, I. G. (2020). Descripción del estrato arbóreo en combinación con café rústico en una selva mediana subperennifolia, Jocotepec, Oaxaca. *REVISTA TERRA Latinoamericana*, 38(2), 413–423. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i2.626>
 - Richards, J. H., Luna, I. M. T., & Waller, D. M. (2020). Tree longevity drives conservation value of shade coffee farms for vascular epiphytes. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 301, 107025.
 - Román-Miranda, M., Mora-Santacruz, A., & González-Cueva, G. (2016). Sistemas agroforestales con especies de importancia maderable y no maderable, en el trópico seco de México. *Avances En Investigación Agropecuaria*, 20(2), 53–72. Retrieved from <http://ww.ucol.mx/revaia/portal/pdf/2016/mayo/5.pdf>
 - Ruiz García, P., Gómez Díaz, J. D., Valdes Velarde, E., & Monterroso Rivas, A. I. (2020). Sistemas agroforestales de café como alternativa de producción sustentable para pequeños productores de México. *Ra Ximhai*, 137–158. <https://doi.org/10.35197/rx.16.04.2020.07.pr>
 - Sánchez Hernández, S., Mendoza Briseño, M. A., & García Hernández, R. V. (2017). Diversificación de la sombra tradicional de cafetales en Veracruz mediante especies maderables. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 8(40), 7–17. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v8i40.32>
 - Sánchez Hernández, S., Mendoza Briseño, M. A., & García Hernández, R. V. (2017). Diversification of the traditional shadow of coffee trees in Veracruz through timber species. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 8(40), 7–18.

- Sauvadet, M., Van den Meersche, K., Allinne, C., Gay, F., de Melo Virginio Filho, E., Chauvat, M., ... & Harmand, J. M. (2019). Shade trees have a higher impact on soil nutrient availability and food web in organic than conventional coffee agroforestry. *Science of the Total Environment*, 649, 1065-1074.
- Schnabel, F., de Melo Virginio Filho, E., Xu, S., Fisk, I. D., Roupsard, O., & Haggard, J. (2018). Shade trees: a determinant to the relative success of organic versus conventional coffee production. *Agroforestry Systems*, 92(6), 1535–1549. <https://doi.org/10.1007/s10457-017-0100-y>
- Solórzano, N., & Querales, D. (2010). Crecimiento y desarrollo del café (*Coffea arabica*) bajo la sombra de cinco especies arbóreas.
- Staver, C., Juventia, S., Navarrete, E., Navarrete, L., Sepulveda, N., & Barrios, M. (2020). Long-term response of groundcover components to organic and conventional weed control in shaded and open-sun coffee in Nicaragua. *Crop Protection*, 133, 105150.
- Valencia, V., Naeem, S., García-Barrios, L., West, P., & Sterling, E. J. (2016). Conservation of tree species of late succession and conservation concern in coffee agroforestry systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 219, 32–41. doi:10.1016/j.agee.2015.12.004
- Van Kanten, R., & Vaast, P. (2006). Transpiration of arabica coffee and associated shade tree species in sub-optimal, low-altitude conditions of Costa Rica. *Agroforestry Systems*, 67(2), 187-202.
- Villarreyna, R., Avelino, J., & Cerda, R. (2020). Ecosystem-based adaptation: effect of shade trees on ecosystem services in coffee plantations. *Agronomía Mesoamericana*, 31(2), 499-516.
- Wall, G. L., & Ferrari, A. E. (2004). Utilización de árboles fijadores de nitrógeno para la revegetación de suelos degradados. *Revista de la Facultad de Agronomía*, (2), 151-175.
- White, A., & Martin, A. (2002). Who owns the world's forests. *Forest Trends, Washington, DC*.
- Mendieta López, M., & Rocha Molina, L. R. (2007). Sistemas agroforestales. (en línea). Consultado 15 Jun. 2021. Recuperado de <https://cenida.una.edu.ni/textos/nf08m538.pd>

- Moreira, D., & Cascante, R. (2017). Sistemas agroforestales. (en línea). Consultado 15 Jun. 2021. Recuperado de <https://euroclimaplus.org/edocman/sectores/alimentos/7.BVE17068963e.pdf>
- Xu, H., Detto, M., Fang, S., Chazdon, R. L., Li, Y., Hau, B. C. H., ... Yao, T. L. (2020). Soil nitrogen concentration mediates the relationship between leguminous trees and neighbor diversity in tropical forests. *Communications Biology*, 3(1). <https://doi.org/10.1038/s42003-020-1041-y>