

## Caracterización de especies arbóreas asociadas al cultivo de café

Rubén Garza-Lau  
Ranferi Maldonado-Torres<sup>§</sup>  
María Edna Álvarez-Sánchez  
José Antonio Torres-Rivera

Maestría en Ciencias en Agroforestería-Departamento de Suelos-Universidad Autónoma Chapingo.  
Carretera México-Texcoco km 38.5, Chapingo, Texcoco, Estado de México, México. CP. 56230.

<sup>§</sup>Autor para correspondencia: ranferimt@yahoo.com.mx.

### Resumen

El cultivo de café en México se produce bajo sombra con diversos árboles, incluyendo algunas especies fijadoras de nitrógeno, en sistemas denominados agroforestales. El presente estudio se llevó a cabo en el año 2018 en el municipio de Huatusco, Veracruz y el objetivo fue caracterizar los sistemas agroforestales de *Inga vera* y *Erythrina poeppigiana* (una plantación joven y otra adulta) en asociación con café; a través, de la medición de sus características físicas, como edad del arbolado, altura, grosor de plantas de café, porcentaje de sombra y las características químicas del suelo y foliar. Posteriormente, los resultados se compararon con un sistema de café-*Juglans pyriformis*, para observar las diferencias nutricionales existentes entre plantaciones con leguminosas y no leguminosas. Con estos datos, se propuso el uso de *Erythrina poeppigiana* como sombreado de café, la cual contribuye a mejorar el microclima y la fertilidad del suelo mediante la fijación biológica de nitrógeno.

**Palabras clave:** diagnóstico nutrimental, fijación de nitrógeno, sombra en café.

Recibido: diciembre de 2019

Aceptado: febrero de 2020

## Introducción

En el estado de Veracruz, el cultivo de café se realiza bajo la sombra de algunas especies forestales leguminosas. Estas interactúan con el cultivo de café, a nivel físico mediante el porcentaje de sombra y nutrimentalmente a través de la fijación biológica de nitrógeno (FBN). Los sistemas agroforestales de café deben cumplir con un porcentaje de sombra de 55% para reducir el estrés hídrico, lo cual se puede lograr con un correcto espaciamiento de los árboles y mediante podas periódicas (Cisneros y Sánchez, 2015). El presente estudio tiene como objetivo describir las interacciones físicas y químicas de cuatro sistemas agroforestales mediante la medición del porcentaje de sombra, así como del análisis e interpretación de sus valores nutrimentales para proponer un arreglo y manejo nutrimental que permitan obtener máximos rendimientos.

## Materiales y métodos

### Descripción del área de estudio

El presente estudio se realizó en un Luvisol de la localidad de 'La Patrona', en el municipio de Huatusco, Veracruz. Las parcelas de interés se encuentran entre los 19° 09' 21'' y 19° 09' 31'' latitud Norte, y entre los 96° 55' 50' y 96° 56' 03'' longitud oeste, a una altitud promedio de 1 170 msnm, temperatura media anual de 17.2°C y precipitación media anual de 1.969.9 mm al año y presentan un clima de tipo (A)C(w<sub>1</sub>); (FAO, 2008). Los sistemas agroforestales de la región el cultivo principal es café, plantado a 2\*1 m, fertilizado en el área de goteo en mayo y agosto con 200 g de una mezcla de fosfonitrato y cloruro de potasio y una fertilización foliar en febrero.

A 15 árboles de sombra en cada sistema agroforestal se midió el diámetro, altura y sombra que proyectan, mientras que a 20 plantas de café elegidos al azar se muestreo el suelo y hojas para el análisis. Los análisis de suelo y tejido fueron realizados de acuerdo con la NOM-021 (NOM, 2000). El diagnóstico del análisis de tejido fue realizado con el sistema de diagnóstico y recomendación (DRIS), Índices de balance Kenworthy y desviación óptima porcentual (DOP) (Kenworthy, 1961; Montañes *et al.*, 1991; Bhaduri y Pal, 2013). Los sistemas estudiados fueron:

### Sistema café-*Inga vera*

Este sistema tiene 12 años, es una leguminosa arbórea muy utilizada como sombra en cafetos. Los árboles tenían una distancia de 7\*6 m, densidad de 238 árboles ha<sup>-1</sup>, altura de 8.3 m y 21.6 cm de diámetro y proyectan al café una sombra de 47%, mientras que las plantas de café miden 1.81 m de altura y 4.75 cm de diámetro.

### Sistema café-*Juglans pyriformis*

La especie *Juglans pyriformis* no es leguminosa, tiene 12 años de edad, plantados a 6\*6, con una densidad de 277 ha, altura de 6.9 m y el diámetro de 18.8 cm, proyectan una sombra de 68.6%, siendo el testigo respecto de fijadores de nitrógeno. Las plantas de café miden en promedio 1.97 m de altura y 5.04 cm de diámetro.

### Sistema café-*Erythrina poeppigiana*-*Grevillea robusta*

Este sistema tiene *Erythrina poeppigiana* y *G. robusta*, tienen 4 años de edad. La densidad de árboles de sombra fue 69 de *Erythrina poeppigiana* y 208 de *G. robusta*, lo que proporcionan 53.6% de sombra al cultivo de café. El cultivo tuvo una altura promedio de 2 m y un diámetro de 4.7 cm.

### Sistema café-*Erythrina poeppigiana*

Este arbolado tiene 24 años de edad, plantados a 7\*6 m, con lo que se obtiene una densidad arbórea de 238 árboles ha<sup>-1</sup>, que proporciona 61% de sombra al café, que en promedio mide 1.92 m de altura y 4.1 cm de diámetro en la base.

## Resultados y discusión

### Evaluación de las interacciones físicas

En el Cuadro 1 se presentan las características de los cuatro sistemas agroforestales, tales como el espaciamiento y edad del arbolado, porcentaje de sombra y altura de los cafetos.

**Cuadro 1. Descripción de los sistemas agroforestales sometidos a estudio.**

Descripción	Café- <i>Inga vera</i> (IV)	Café- <i>E. poeppigiana</i> y <i>G. robusta</i> (EG)	Café- <i>E. poeppigiana</i> (EP)	Café- <i>Juglans pyriformis</i> (JP)
Superficie (ha)	1.21	1	1.14	0.15
Edad (años)	12	4	24	12
Densidad arbórea (árboles ha <sup>-1</sup> )	238	69 <i>E. poeppigiana</i> 208 <i>G. robusta</i>	238	277
Sombra (%)	47	53.6	61	68.6
Altura de cafetos (m)	1.81	2	1.92	1.97
Diámetro de cafetos (cm)	4.75	4.7	4.1	5.04

El sistema IV presenta un porcentaje de sombra menor al propuesto por Franck y Vaast (2009), lo que podría influir en el tamaño de las plantas de café, que presentaron el porte más bajo de los sistemas analizados. Los sistemas JP y EP superan 55% de sombra, muy cercano al ideal de 53.6%, importante para el crecimiento foliar y producción de fruto. En el sistema EP, la edad del arbolado promovió mayor porcentaje de sombra. En el sistema EG los cafetos tuvieron mayor altura y con mayor diámetro los del sistema EP. Según Francesconi y Montagnini, 2014 el crecimiento está relacionado con la producción de hojas, capacidad fotosintética, producción de flores del ciclo siguiente con yemas fructíferas altamente sensible a la radiación.

## Diagnóstico nutrimental del suelo por sistema agroforestal

En el Cuadro 2 se muestra el análisis de suelo con un pH de entre 4.61 y 5.16, lo cual concuerda con Audate *et al.* (2016) y disminuye la disponibilidad de N, P, K, Ca, Mg, S y Mo, mismos que deben ser suministrados mediante fertilización para procurar un balance nutrimental adecuado.

**Cuadro 2. Concentración e interpretación de los análisis de suelo.**

Atributos	EG	IV	JP	EP
pH	4.61	5.03	5.16	4.99
CE ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )	94.9	79.1	99.2	101.2
MO (%)	5.16	6.37	5.9	5.43
CIC ( $\text{cmol}^+ \text{kg}^{-1}$ )	17.65	17.65	18.37	14.25
N inorgánico ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	3.5	7	21	24.5
P-Olsen ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	11.4	1.7	14.9	10.3
K ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	484.51	316.19	469.05	343.12
Ca ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	671.41	1064.12	1187.38	1072.36
S-SO <sub>4</sub> ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	101.14	54.09	62.95	81.36
Mg ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	110.07	137.1	214.92	182.52
Fe ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	58.13	30.45	20.96	21.43
Mn ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	18.16	34.63	48.08	71
Cu ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	0.34	0.74	0.8	0.86
Zn ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	0.83	1.18	1.08	1.22
B ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	3.81	2.8	2.55	3.76

EG= tratamiento de *Grevillea robusta* y *Erythrina poeppigiana*; IV= tratamiento con *Inga vera*; JP= tratamiento con *Juglans pyriformis*; EP= tratamiento con *Erythrina poeppigiana*.

Todos los sistemas mostraron una CE baja y adecuada para el desarrollo del cultivo, así como, 5.16% de materia orgánica derivado de la acumulación de residuos de la poda, lo que se promueve el reciclaje de nutrientes, incremento de microflora y microfauna en la capa superficial del suelo.

Los sistemas JP y EP mostraron altas concentraciones de N superiores a  $20 \text{ mg kg}^{-1}$ , mientras que EG e IV presentaron concentraciones más bajas en un rango deficitario. El sistema IV tuvo bajo nivel de P y muy altos de K, mientras que EG tuvo la concentración más baja de Ca, Mg, Cu y Zn debido a la acumulación de  $\text{Al}^{3+}$  el cual genera antagonismos con cationes y fijación de P.

El Ca y Cu fue bajo en los 4 sistemas y muy alto el Mg, mientras que el Fe fue muy alto en los sistemas EG y IV y medio en JP y EP. El Mn fue bajo en EG, alta en IV y JP y excesiva en EP. En el sistema EG la concentración de Zn se encontró muy baja, mientras que en IV, JP y EP fueron bajas. El B es de suma importancia para la longevidad del polen fue muy alto (Ankerman, 1977).

## Diagnóstico nutrimental del café por sistema agroforestal

### Índice de balance de Kenworthy

Para calcular el índice de balance de Kenworthy se tomaron como referencia los datos reportados por Fonseca *et al.* (2018), con los que se obtuvieron los resultados presentados en el Cuadro .

**Cuadro 4. Diagnóstico nutrimental inicial utilizando el índice de balance de Kenworthy para los cuatro sistemas bajo estudio.**

Sistemas	N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	(% )					(mg kg <sup>-1</sup> )				
Diagnóstico nutrimental inicial de café con <i>Erythrina poeppigiana</i> (EP)										
CN	1.95	0.4	1.21	0.29	0.29	0.26	21.23	61.43	53.05	4.75
IBK	69	138	61	29	87	17	216	57	82	48
C	B	A	B	MB	N	MB	MA	B	B	MB
ORN	B> Ca> Zn> Fe> K> N> Mn> Mg> P> Cu									
Diagnóstico nutrimental inicial café con <i>Inga vera</i> (IV)										
CN	1.85	0.38	1.32	0.26	0.31	0.26	17.48	95.18	72.05	4.6
IBK	65	130	66	27	92	17	172	81	96	47
C	B	A	B	MB	N	MB	MA	B	N	MB
ORN	B> Ca> Zn> N> K> Fe> Mg> Mn> P> Cu									
Diagnóstico nutrimental inicial de café con <i>Juglans pyriformis</i> (JP)										
CN	1.41	0.31	1.32	0.27	0.29	0.22	14.23	55.85	96.2	5.53
IBK	51	104	66	28	87	17	135	53	134	53
C	B	N	B	MB	N	MB	A	B	A	B
ORN	B> Ca> N> Fe> Zn> K> Mg> P> Mn> Cu									
Diagnóstico nutrimental inicial de café con <i>E. poeppigiana</i> y <i>Grevillea robusta</i> (EG)										
CN	1.81	0.4	1.38	0.28	0.26	0.38	10.33	23.58	62.55	5.25
IBK	64	138	69	29	79	17	94	31	89	51
C	B	A	B	MB	B	MB	N	MB	N	B
ORN	B> Ca> Fe> Zn> N> K> Mg> Mn> Cu> P									

CN= composición nutrimental; IBK= índice de balance de Kenworthy; C= condición: MB= muy baja; B= Baja; N= normal; A= alta; MA= muy alta; ORN= orden de requerimiento nutrimental.

El diagnóstico nutrimental de los sistemas agroforestales indicó que B, Ca, Fe, Zn, N, K y Mg fueron los más deficitarios, mientras que Mn siempre se mantuvo en el intervalo normal, Cu y P se ubicaron en el nivel arriba de lo normal.

El balance de Kenworthy indicó que, a pesar del alto contenido de N en el suelo de JP, la concentración foliar fue menor en comparación con los otros sistemas. También se puede observar que, en todos los sistemas, los elementos más deficientes fueron B y Ca, lo cual coincide con Millán *et al.*, (2010), quienes, reportan altos niveles de  $Al^{3+}$  en suelos ácidos de Argentina.

Al corregirse la deficiencia mencionada, las plantas presentarán mayor altura, desarrollo del sistema radicular, número de hojas, ramificaciones y resistencia a plagas y enfermedades. Por otro lado, los elementos más abundantes son Cu y P. El P reduce su disponibilidad en suelos con pH menor a 6.5 pero se observa una aplicación innecesaria de P.

### Desviación del óptimo porcentual (DOP)

El diagnóstico determinado mediante el método DOP se presenta en el Cuadro .

**Cuadro 5. Diagnóstico nutrimental inicial con el índice DOP para los cuatro sistemas bajo estudio.**

Sistemas	N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	(% )					(mg kg <sup>-1</sup> )				
Diagnóstico nutrimental inicial de café con <i>Erythrina poeppigiana</i> (EP)										
CN	1.95	0.4	1.21	0.29	0.29	0.26	21.23	61.43	53.05	4.75
DOP	-33	33	-42	-78	-15	-99	89	-50	-32	-64
ORN	B> Ca> Zn> Fe> K> N> Mn> Mg> Cu> P									
Diagnóstico nutrimental inicial de café con <i>Inga vera</i> (IV)										
CN	1.85	0.38	1.32	0.26	0.31	0.26	17.48	95.18	72.05	4.6
DOP	-36	27	-36	-80	-9	-99	56	-22	-7	-64
ORN	B> Ca> Zn> K> N> Fe> Mg> Mn> Cu> P									
Diagnóstico nutrimental inicial de café con <i>Juglans pyriformis</i> (JP)										
CN	1.41	0.31	1.32	0.27	0.29	0.22	14.23	55.85	96.2	5.53
DOP	-51	3	-36	-79	-15	-100	27	-54	24	-58
ORN	B> Ca> Zn> Fe> N> K> Mg> Mn> Cu> P									
Diagnóstico nutrimental inicial de café con <i>E. poeppigiana</i> y <i>Grevillea robusta</i> (EG)										
CN	1.81	0.4	1.38	0.28	0.26	0.38	10.33	23.58	62.55	5.25
DOP	-38	33	-33	-78	-24	-99	-8	-81	-20	-60
ORN	B> Fe> Ca> Zn> N> K> Mg> Mn> Cu> P									

CN= Composición nutrimental; DOP= desviación del óptimo porcentual; ORN= orden de nutrimental.

Con ambos sistemas de diagnóstico se pudo constatar que los elementos más limitativos fueron B, Ca, Fe, Zn, N, K y Mg, pero que especialmente, en ambos métodos, Balance de Kenworthy y DOP demuestra que los elementos con mayor escasez son el B y Ca y aquellos que se encuentran en exceso son el Cu y P, corroborando las deficiencias en el manejo nutrimental de los sistemas.

## Conclusiones

El mayor problema en los sistemas agroforestales fue la acidez del suelo que disminuyó la disponibilidad de Ca, Cu y Zn y la consecuente deficiencia de estos en las plantas. El nivel de Fe en el suelo fue muy alto en EG y IV, pero media en JP y EP. Mientras que el Mn fue baja en EG, alta en IV y JP y excesiva en EP. El B el cual es un elemento de suma importancia para la longevidad del polen las concentraciones se encontraron muy altas. En general e independientemente del sistema agroforestal los análisis indicaron que los elementos B, Ca, Fe, Zn, N, K y Mg fueron los más limitativos encontrándose entre los más deficitarios en el orden respectivo, mientras que Mn siempre se mantuvo en el intervalo normal y Cu y P se ubicaron en el nivel arriba de lo normal.

Se recomienda el uso de *E. poeppigiana* como sombreado para el café, debido a que, mediante podas, se puede mantener un porcentaje de sombra ideal para el cultivo (55%); sin embargo, para elevar la eficiencia en la nodulación, es necesario el uso de inóculos, ya que *E. poeppigiana* es una especie introducida, así como los activadores de la nodulación (Co, Mo, Fe) para asegurar que la FBN se lleve a cabo de manera adecuada y se reduzca la necesidad de fertilización nitrogenada.

## Literatura citada

- Ankerman, D. and Large, R. 1977. Soil and plant analysis. 1<sup>st</sup> Ed. A and L Agricultural Laboratories. Memphis, TN, USA. 82 p.
- Audate, E.; Maldonado, T. R.; Álvarez, S. M. E.; Torres, R. J. A. y Ramírez, M. H. 2016. Diagnóstico nutrimental de tres sistemas agroforestales de *Coffea arabica* L. cultivado bajo sombra Veracruz, México. Universidad Autónoma Chapingo. Estado de México. 91 p.
- Bhaduri, D. and Pal, S. 2013. Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS): Concepts and applications on nutritional diagnosis of plants - a review. J. Soil Water Conserv. 12(1):70-79.
- Cisneros, C. y Sánchez, M. 2015. Solubilización de fosfatos por hongos asociados a un Andisol de tres agroecosistemas cafeteros de la región andina colombiana. Ingenium. 9(25):37-46.
- FAO. 2008. Food and Agriculture Organization. Base referencial mundial del recurso suelo. 1<sup>a</sup> Edición. Roma, Italia. 117 p.
- Fonseca, A.; Lima, J. and Silva, S. 2018. Spacial variability of balanced indexes of kenworthy (BIK) for macro and micronutrients on the coffee *Canephora*. J. Exp. Agric. Inter. 23(1):1-10.
- Francesconi, W. and Montagnini, F. 2014. Biodiversidad y conservación de bosques: funciones potenciales de los sistemas agroforestales. Jornadas técnicas forestales y ambientales. In: Memoria. XVI Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. Weber, E.; Bath, S. y Redes, J. (Eds.). 1<sup>ra</sup> Edición. Eldorado Misiones, Argentina. 452-459 pp.
- Franck, N. and Vaast, P. 2009. Limitation of coffee leaf photosynthesis by stomatal conductance and light availability under different shade levels. Trees-Structure and Function. 23(4):761-769.
- Millán, G.; Vázquez, M.; Terminiello, A. and Santos, S. D. 2010. Efecto de las enmiendas básicas sobre el complejo de cambio en algunos suelos ácidos de la región pampeana. Ciencia Del Suelo. 28(2):131-140.

- Montañes, L.; Heras, L. and Sanz, M. 1991. Desviación del óptimo porcentual (DOP); nuevo índice para la interpretación del análisis vegetal. An. Aula Dei. Aragón, España. 20:3-45.
- NOM-021-RECNAT-2000. 2002. Establece las especificaciones de fertilidad, sanidad y clasificación de suelos, estudios, muestreo y análisis. SAGARPA, Diario Oficial de la Federación. Distrito Federal, México. 73 p.