

Densidad en una plantación de café (Coffea arábica) variedad marsellesa con enfoque agroforestal

Densidade em uma plantação de café (Coffea arabica) com uma abordagem agroflorestal

Density in a coffee (Coffea arabica) plantation with agroforestry approach

DOI: 10.34188/bjaerv7n2-043

Submetido: 19/01/2024

Aprovado: 01/03/2024

Lilia Ortiz Rodríguez

Doctora en Ingeniería

Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico Superior de Perote
Veracruz. México

E-mail: lilia.ortiz@perote.tecnm.mx

Arturo Morales Pérez

Ingeniero forestal

Egresado del

Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico Superior de Perote
Veracruz. México

E-mail: mendezdaniel_1207@hotmail.com

Carlos Cuevas Suarez

Maestro en Manejo del Recurso Forestal

Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico Superior de Perote. División de
Ingeniería Forestal
Veracruz. México

E-mail: carlos.cuevas@perote.tecnm.mx

Rodolfo Fernández Soto

Ingeniero Forestal

Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico Superior de Perote. División de
Ingeniería Forestal
Veracruz. México

E-mail: rodolfo.fernandez@perote.tecnm.mx

Omar Ríos Romero

Ingeniero Agrónomo

Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico Superior de Perote. División de
Ingeniería Forestal
Veracruz. México

E-mail: omar.romero@perote.tecnm.mx

Margarito Guerrero Hernández

Ingeniero Industrial

Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico Superior de Perote
Veracruz. México

E-mail: margarito.guerrero@perote.tecnm.mx

RESUMEN

El siguiente trabajo, se desarrolló en la zona centro montañosa del estado de Veracruz, dentro de la cuenca del río la antigua, en el municipio de Teocelo. Se utilizaron sitios de muestreo circulares de diámetro 17.84 m con una superficie de 1000 m². Se recabó y se ajustaron modelos matemáticos para calcular factor de competencia de copas, variables como diámetro a la altura de 1.30m (DAP) de todos los individuos con $DN \geq 10$ cm y diámetro de copa. La estructura arbórea en las unidades de muestreo las especies más identificadas fueron *Inga edulis* con un porcentaje de 55% quedando en segundo lugar la especie de *Musa parasidiaca* y para el factor de competencia de copas (FCC) en la especie de *M. parasidiaca* se obtuvo un 22 % para la categoría de 10 y 45 % para la categoría diamétrica de 20; para la especie de *Inga edulis* se obtuvo un 20 % dentro de la categoría de 10 que fue la mínima y la máxima ocupó la categoría de 30 con un FCC de 87%.

Palabras clave: café, densidad, sistema agroforestal, factor de competencia de copa

RESUMO

O trabalho a seguir foi realizado na área montanhosa central do estado de Veracruz, dentro da bacia do rio La Antigua, no município de Teocelo. Foram usados locais de amostragem circulares com um diâmetro de 17,84 m e uma área de superfície de 1.000 m². Modelos matemáticos foram coletados e ajustados para calcular o fator de competição da copa, variáveis como o diâmetro a 1,30 m de altura (DBH) de todos os indivíduos com $DB \geq 10$ cm e o diâmetro da copa. A estrutura arbórea nas unidades de amostragem, as espécies mais identificadas foram *Inga edulis* com uma porcentagem de 55%, seguida por *Musa parasidiaca*, e para o fator de competição de copa (CCF) na espécie *M. parasidiaca*, 22% foi obtido para a categoria de 10 e 45% para a categoria de diâmetro de 20; para a espécie *Inga edulis*, 20% foi obtido na categoria de 10, que foi o mínimo, e o máximo foi na categoria de 30 com um CCF de 87%.

Palavras-chave: café, densidade, sistema agroflorestal, fator de competição de copa.

ABSTRACT

The following work was carried out in the central mountainous zone of the state of Veracruz, within the La Antigua river basin, in the municipality of Teocelo. Circular sampling sites with a diameter of 17.84 m and a surface of 1000 m² were used. Mathematical models were collected and adjusted to calculate crown competition factor, variables such as diameter at 1.30 m height (DBH) of all individuals with $DB \geq 10$ cm and crown diameter. The tree structure in the sampling units, the most identified species were *Inga edulis* with a percentage of 55%, followed by *Musa parasidiaca*, and for the crown competition factor (CCF) in the species *M. parasidiaca*, 22% was obtained for the category of 10 and 45% for the diameter category of 20; for the species *Inga edulis*, 20% was obtained in the category of 10, which was the minimum and the maximum was in the category of 30 with a CCF of 87%.

Keywords: coffee, density, agroforestry system, crown competition factor.

1 INTRODUCCIÓN

La agroforestería identificada como un sistema a campos donde su uso no se aplica en un solo cultivo, sino que se mantienen ciertas interacciones entre una o varias especies ya sea arbustiva o arbórea principalmente, traducándose en sistemas de producción sostenibles en la misma unidad de terreno. En el caso de los cafetales con sistemas agroforestales, las especies arbóreas de los cuales

se esperaría la menor utilidad, en el ámbito forestal el término estructura hace referencia a la distribución de los árboles en clases de diámetro (o clases diamétricas).

Evaluar la estructura de los bosques es importante porque esto desempeñan un rol clave en varios procesos ecológicos que determinan su funcionamiento (Van der Zeet et al., 2021).

Los árboles de sombra en los cafetales tienen un rol importante en el impacto ambiental positivo sobre los servicios ecosistémicos de estos agroecosistemas, como es la regulación del microclima, aumento de la materia orgánica del suelo, reciclaje de nutrientes, fertilidad, reducción de la erosión y almacenamiento de carbono. (Villarreyna et al., 2020). Analizar cada uno de estos aspectos permite conocer la situación actual en la que se encuentra las especies y que se estarán trabajando como referencia para captura de datos, encaminados con los objetivos específicos en temas de estructura y densidad arbórea. Según Ávila Valdivia (2018) han surgido varios métodos para evaluar la densidad del rodal, entre los más conocidos se pueden mencionar: el área basal, el índice de espaciamiento relativo, el índice de densidad del rodal y el factor de competición de copas.

La densidad se define como el grado de ocupación de un sitio o también por la intensidad de competencia entre arboles según Monroy (1997). Curtis (1970) define la densidad como el número de individuos, área basal o volumen por unidad de superficie. Becerra (1986) Menciona que el concepto de densidad no es más que una medición que se refiere a la presencia de árboles sobre un área determinada por ejemplo número de árboles, área basal o volumen de los árboles por unidad de superficie. El factor de competencia de copas como medida de densidad, según Corvalán (1985) este concepto lo describe como otra forma de medir la ocupación del espacio análoga a la razón de área por árbol. Supone que los árboles que crecen aislados “sin competencia” pueden expresar el diámetro de su copa como una función lineal de su DAP. Por otro lado, las especies asociadas a este cultivo son la guaba o jinicuil ubicada por su nombre común en esta región a la especie *Inga edulis*, árbol de copa densa, aparasolada y ancha con ramificaciones, que alcanza hasta 30 m de altura, con diámetros de 30 a 60 cm de tronco, esta especie ayuda a controlar la fragmentación del suelo evitando la erosión, ya que toleran los suelos ácidos, según Silva, Rogez y Larondelle (2013). Anualmente al caer las hojas forman un matillo que ayuda a mantener la humedad del suelo y suprime el crecimiento de arvenses. Sobanski y Márquez (2014), reafirmando Maritza Quijia (2020). Se idéntica también la especie de banano, por su nombre científico, *Musa parasidiaca* L. frutos tropicales que han estado en las antiguas civilizaciones aportan gran valor en el consumo humano, e importancia ecológica dentro de los sistemas agroforestales de café, su precipitación óptima para el cultivo de esta especie está entre 2,000 y 3,000 mm anuales, bien distribuidos. Los árboles en los cafetales permiten mantener la longevidad de las plantas de café, la biodiversidad, brindan servicios ecosistémicos como la producción de alimentos y otros productos agroforestales (madera y leña),

polinización, control de plagas y enfermedades, fijación de nitrógeno, control de erosión. (Jha et al., 2011).

Las plantaciones de café bajo sombra han demostrado ser importantes en la conservación de la diversidad biológica por lo que en el presente trabajo se determinó la densidad de especies en asociación en Sistema Agroforestal de café (*Coffea arabica*) de la variedad marsellesa y el factor de competencia de copa de las dos especies; *Inga edulis* y *M. parasidiaca*.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio:

Ubicado en campos periféricos del municipio de Teocelo, Veracruz, entre los paralelos 19° 20' y 19° 24' de latitud norte; los meridianos 96° 50' y 97° 02' de longitud oeste; altitud entre 500 y 1,420 msnm. Esta zona se encuentra entre el Eje Neovolcánico y la Sierra Madre Oriental, dentro de la provincia florística de serranías meridionales pertenecientes a la región mesoamericana de montaña según Rzedowski (1978). El estudio se realizó en una superficie de 1 hectárea, con la ubicación poligonal georreferenciadas. El área de estudio tiene plantas de café, bajo sombra, de la variedad Marsellesa con una edad de plantación de 5 años aproximadamente, bajo sombra, con especies de *Inga edulis* y *M. parasidiaca*, especies asociadas al café ubicadas de forma aleatoria. El método de muestreo fue tipo conglomerado, el tamaño de los sitios para obtener los datos fue de 1,000 m², con un radio de 17.84 m, de forma circular. Para delimitar los sitios se utilizaron cuerdas compensadas, tomando en cuenta la pendiente del terreno, el estudio se llevó a cabo en los meses julio y agosto del 2022.

Variables evaluadas

Densidad: para este caso se registró el número de individuos por cada sitio y por categoría diamétrica. (CD).

Diámetro normal: esta medición se hizo con el apoyo de una cinta diamétrica, a la altura de 1.3 metros del suelo (diámetro normal o diámetro a la altura del pecho), para cada uno de los individuos dentro del sitio.

Diámetro de copa: esta medición se llevó a cabo para cada uno de los individuos dentro del sitio, para ello se utilizaron cintas o cinta métrica de 20 metros. Se midió el diámetro de copa 1 de norte a sur y el diámetro de copa 2 de este a oeste, proyectando la última rama de cada individuo hacia el suelo. (Pérez, 2017).

Con ello se desglosaron datos para IVIE (Índice de valor de importancia ecológica) y FCC (Factor de competencia de copas).

Factor de competencia de copas (FCC).

La función se construye con una muestra de árboles de distinto tamaño, creciendo en condiciones

de aislamiento, es decir, utiliza la relación existente entre la copa de un árbol y su diámetro. Este índice de densidad se supone independiente de la edad, sitio, y estructura de los rodales (Krajicek et al., 1961; Quiñones, 2000). Este procedimiento fue ideado por Krajicek et al., (1961). Apropiado para rodales coetáneos e incoetáneos. Se diseñó para adoptar información acerca de la máxima cantidad de espacio disponible que puede utilizar un árbol y acerca del mínimo necesario para que el árbol pueda sostener su sitio dentro del rodal. (Daniel et al., 1982).

La relación entre el diámetro de la copa (DC) y diámetro normal (d) para árboles aislados se asume de la forma:

$$DC = \beta_0 + \beta_1 * d$$

Donde β_0 y β_1 son coeficientes.

El área de copa (AC) será:

$$AC = \pi/4 * d^2$$

O bien

$$AC = \pi/4 * (\beta_0 + \beta_1 * d)^2$$

El área máxima de copa (AMC), es decir, el área de copa de un árbol aislado de diámetro (d), expresada como porcentaje de la unidad de área utilizada comúnmente es:

$$AMC = \pi/4 * (\beta_0 + \beta_1 * d)^2 / 10$$

Para la obtención de este factor, se obtuvo información en árboles aislados, libres de competencia, sanos y sin ninguna evidencia de daño. Se seleccionaron dos especies que están en asociación con el cultivo de café, y que además de eso se encuentran dispersos aleatoriamente, las variables dasométricas medidas fueron el diámetro normal, altura y diámetros de copa nortesur y este-oeste.

Con los datos de estos árboles de esta especie se aplicó el modelo propuesto por Krajicek et al., (1961) basado en las siguientes relaciones funcionales:

$$DC = \beta_0 + \beta_1 * d$$
$$AC = \pi / (4) * [DC]^2$$
$$AC = \pi / 4 * (\beta_0 + \beta_1 [d])^2$$

Donde:

DC = diámetro de copa (m)

AC = área de copa (m²) (Krajicek et al. , 1961; Quiñones, 2000).

Finalmente, el factor de competencia de copas esta dado por:

$$FCC = \frac{\sum_{i=1}^n amc}{a}$$

Donde:

amc= área máxima de copa (m²)

a= área ocupada por el rodal (m²)

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como resultados generales del presente trabajo, en lo que respecta a la composición florística en el campo agroforestal de estudio (figura 1), se registraron 92 individuos en total de área de muestreo por conglomerado en la tabla 1 muestra las especies relevadas en los sitios, su nombre común, el número de individuos de cada especie y el biotopo.

Figura 1. Cultivo de café variedad marsellesa, con enfoque agroforestal asociado con *Inga edulis* y *M. parasidiaca*. En Teocelo, Veracruz.



Tabla 1. Caracterización de la vegetación en los sitios.

Especie	Nombre común	Nº de Individuos	Biotopo
<i>Inga edulis</i>	Jinicuil	35	Arbóreo
<i>Musa parasidiaca</i>	Banano, o plátano.	50	Arbusto

Tabla 2. Factor de Competencia de Sistema agroforestal de café marsellesa con especies asociadas.

Especie	CD	FCC (%)			
		10	20	30	40
<i>Inga edulis</i>		20%	62%	87%	71%
<i>Musa parasidiaca</i>		22%	45%	0%	0%

En las siguientes tablas 3 y 4 se presentan los resultados dasometricos como: Diámetro de copa (DC), área de copa (AC), número de árboles por hectárea reales ($nah^{-1}/reales$), área máxima de copa individual (AMCI), número de árboles por hectárea ideales ($nah^{-1}/ideales$), espacio de crecimiento(EC%), Factor de Competencia de Copas (FCC%), Factor de Competencia de Copas real (FCC real y al 30%.

Tabla 3. Resultados de *Inga edulis*

<i>Inga edulis</i>									
CD	DC	AC	Na/reales	AMCI	Na/ha Ideales	EC%	FCC %	FCC real %	Na/FCC al 30%
10	3.4	9.079	1101	1.808	5531	0.0181	100	20	1659
20	4.77	17.89	559	11.102	901	0.1110	100	62	270
30	6.44	32.57	307	28.295	353	0.2830	100	87	106
40	9.78	75.12	133	53.387	187	0.5339	100	71	56

Tabla 4. Resultados de *Musa paradisiaca*

<i>Musa paradisiaca</i>									
CD	DC	AC	Na/reales	AMCI	Na/ha Ideales	EC%	FCC %	FCC real %	Na/FCC al 30%
10	2.3184	4.222	2369	0.9393	10646	0.00939	100	22	3194
20	2.8233	6.26	1597	2.8441	3516	0.02844	100	45	1055

En las siguientes figuras 2 y 3 se observa el número de árboles para las especies indaga edulis y *Musa paradisiaca* respectivamente.

Figura 2. Número de árboles /ha ideales, reales y al 30 %, para la especie e *Inga edulis*.

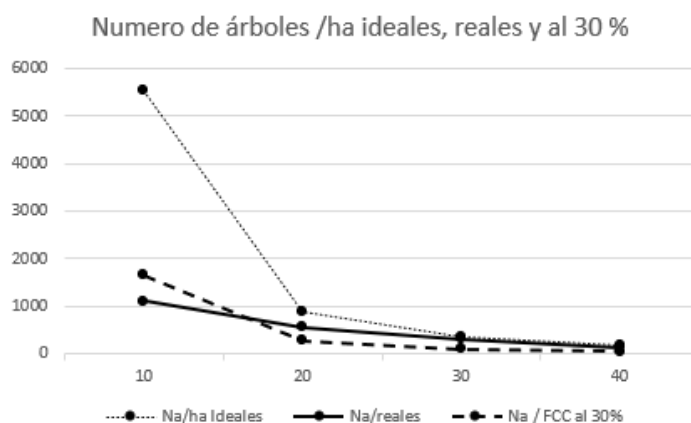
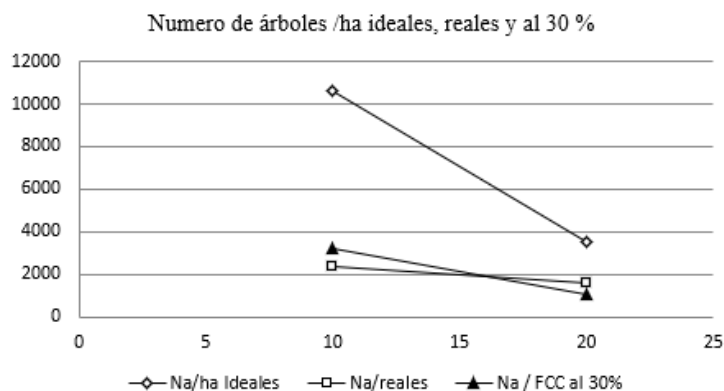


Figura 3. Numero de árboles /ha ideales, reales y al 30 %, para la especie de *M. paradisiaca*.



La vegetación sobresaliente en campo agroforestal con respecto al biotopo, el arbustivo es el más representativo mientras que el arbóreo es el que posee menor porcentaje de presencia, donde la mayoría de las especies y flora son perennes.

Del total de los sitios muestreados la especie de *Inga edulis* se observó y registró en los 4 sitios, la segunda especie que fue *Musa Paradisiaca* se registró en 3 sitios. Las especies con mayor densidad relativa es *M. paradisiaca*. La densidad absoluta en la cual se basa la relativa es el resultado del cociente entre la cantidad de individuos de una misma especie y la superficie muestreada.

La dominancia relativa tiene como base el conocimiento de la cobertura, es decir, la proporción de terreno ocupada por la proyección perpendicular de las partes aéreas de los individuos de la especie considerada según (Matteucci y Colma, 2002).

En la construcción del FCC se emplearon los diámetros de fuste a la altura de 1.30 m y el diámetro promedio de copa de dos especies (1 especie arborea y 1 especie arbustiva) que se encuentran en asociación con el cultivo de café variedad marsellesa. El FCC se obtiene por cada especie. La relación diámetro de copa/diámetro normal. Con una regresión lineal a fin de estimar el diámetro de copa (DC) a partir del diámetro normal (D), para cada categoría. Aparentemente un valor de FCC del 100 por ciento estaría representando una canopia cerrada, donde las copas de los árboles apenas se tocan, y están lo suficientemente distorsionados como para cubrir completamente cada hectárea de terreno. Sin embargo, los autores aclaran: “debe remarcarse que el FCC no es una medida de cobertura de copa. En teoría, una cobertura de copa completa puede ocurrir desde un FCC=100, hasta el máximo de la especie. Mas bien, el FCC estima el área disponible para el árbol promedio en el rodal en relación con el área máxima que puede usar si estuviera creciendo en un lugar abierto. Wabo, E. (1999).

Esta información agroecológica muestra similitudes con la literatura reciente realizada por Saravia, (2021), donde menciona especies como *Musa parasidiaca* e *Inga latibracteata* conocida como Chalaquite blanco. Los estudios por Quintanar OJ, (2015) donde determina a la especie de *Inga latibracteata* (Chalaquite blanco) y a *Juglans pyriformis* Lienn (Cedro nogal) como especies mejor valorizadas para sombra de café en esta zona. Además, para el factor de competencia de copas (FCC) en la especie de *M. parasidiaca*

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El presente trabajo brindó información cuantitativa de la vegetación en un cultivo de café con enfoque agroforestal, con un total de 85 individuos muestreados y un 60% de factor de competencia de copas. El factor de competencia de copas permitió caracterizar cuantitativamente el grado de ocupación de los sitios estudiados, lo que constituye una herramienta básica para la toma de decisiones sobre la determinación de densidades en un sistema agroforestal.

Como recomendaciones se describen que el factor de competencia de copa se debe de realizar por cada especie y dentro de cada región, conocer y reconocer el potencial ecológico y productivo que hay en cultivos de café en asociación con árboles bajo sombra. Utilizar índices de diversidad alternos que nos permita referenciar la estructura arbórea en la agroforestería. Estos criterios pueden emplearse en otras regiones de interés y comparar los comportamientos de ambas zonas. Extender las zonas de estudio, así como registrar y establecer otros factores climatológicos.

Las limitaciones de la presente investigación es que se requirió de mayor tiempo para analizar las variables durante más meses y analizar una variable adicional que valdría la pena analizar como la humedad ya que tiene repercusión en la calidad del café, que se tendría que explorar en otro siguiente proyecto.

REFERENCIAS

- Alexandria Saravia Nava, 2021. Influencia de dos sistemas productivos de *Coffea arabica* en el consumo alimenticio de *Scaptotrigona* mexicana, en tres municipios de Veracruz, México. Tesis. Universidad Veracruzana.
- Ávila Valdivia Alfonso (2018). Estimación de la densidad en *Pinus Pseudostrobus* a partir de variables dasométricas en el estado de México. Universidad Autónoma Chapingo. División en Ciencias Forestales. Obtenido de <https://repositorio.chapingo.edu.mx/server/api/core/bitstreams/ba7419c6-459e-480c-bead-0dff9b23eef0/content>
- Becerra, L.F. 1986. Determinación de una guía de densidad para *Pinus patula* Schl. et Cham. En la región de Chignahuapan - Zacatlán, Pue. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 82 p.
- Corvalán, V. P.; Hernández P. J. 2006. Densidad del rodal. Universidad De Chile Facultad de Ciencias Forestales. Depto. Manejo de Recursos Forestales. Cátedra de Dasometría 2006. 5 p.
- Curtis, R. O. 1970. Stand density measures, An interpretation. For. Sei. 16(4) :403- 414.
- Daniel, T. W; Helms, J. A; Baker, F. S. 1982. Principios de silvicultura. Primera edición en español. De. Mcgraw-Hill. México, 5490 p.
- García Mayoral, L. E., Valdez Hernández, J. I., Luna Cavazos, M., & López Morgado, R. (2016). Estructura y diversidad arbórea en sistemas agroforestales de café en la Sierra de Atoyac, Veracruz. *Madera y bosques*, 21(3), 69–82. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-04712015000300005
- Gliessman, S. R. 1984. An agroecological approach to sustainable agriculture. In W. Jackson, W. Berry. and B. Colman (eds.), Meeting the Expectations to the Land. pp. 160-171. Northpoint Press: Berkeley.
- Gómez Schouben, A. L., Sánchez de Prager, M., Muñoz Flórez, J. E., & Valencia, I.C. (2014). Efecto del fósforo y potasio en la producción de ácido cítrico utilizando una cepa de *Aspergillus niger*. *Acta agronómica*, 63(3), 222–228. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-28122014000300004
- Guerrero, M. 2010. Guía técnica del cultivo de plátano. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal. “Enrique Álvarez Córdova”. Programa MAG-CENTA-FRUTALES. La Libertad, El Salvador. 19 pp.
- Iglesias, P. S. (2017, agosto). *El Cultivo de Plátano y Banano (Musa balbisiana, Musa paradisiaca)*. <https://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/68163/Cultivo%20de%20%20Banano.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Jerez R. M.; Lawrence V.; Ana Y. M. Un modelo de competencia para las plantaciones de teca del área experimental de la reserva forestal Caparo (Barinas – Venezuela). *Revista Forestal Venezuela*. 43(2) 1999, 157-171 p.

Jha, S., Bacon, C. M., Philpott, S. M., Rice, R. A., Méndez, V. E., y Läderach, P. 2011. A Review of Ecosystem Services, Farmer Livelihoods, and Value Chains in Shade Coffee Agroecosystems.

Krajicek, J. S; K. A. Y Gingrich, S. F. 1961: Crow Competition-A measure of density. For Sci. 7 35-42.

López-Bravo, D.F.; Virginio-Filho, E.d.M.; Avelino, J. 2012. Shade is conducive to coffee rust as compared to full sun exposure under standardized fruit load conditions Crop Protection 38:21-29.

LORAN, R. M., 1976. Algunos estudios de suelos derivados de cenizas volcánicas del transecto jalapa- Teocelo, Ver., tesis, Facultad de Ciencias, UNAM, México, 58 pp.

Marco Antonio Quiñones Bayona. (2000). Caracterización silvícola y estructural de rodales de *Pinus Pseudostrobus* Lindl. En el sur de Nuevo León, México. Universidad Autónoma de Nuevo León Facultad de Ciencias Forestales. Obtenido de <http://cdigital.dgb.uanl.mx/te/1020130921.pdf>

Monroy, R.C.R. 1997. Evaluación del crecimiento y productividad de *Pinus patula* Schl. et Cham., en la región de Huayacocotla, Veracruz, México. Tesis Maestría en Ciencias Forestales. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León, Linares, N. L., México. 92p

Quijia-Quijia, M., Castillo-Torres, S., Vásquez-Castillo, W., & Racines-Oliva, M. (2020). Fenología floral de la guaba (*Inga edulis*) en un valle interandino del Ecuador. *Enfoque UTE*, 11(3), 25–34. http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-65422020000300025

RZEDOWSKI, J., 1966. Vegetación del estado de San Luis Potosí, *Acta Ci. Potos.*, 5:5-291.

Sobanski, N. y Marques, M. (2014). Effects of Soil Characteristics and Exotic Grass Cover on the Forest Restoration of the Atlantic Forest Region. *Journal for Nature Conservation*, 22(3), 217–222. doi: 10.1016/j.jnc.2014.01.001

Staudhammer, C., Wadt, L., y otros dos autores, Comparative models disentangle drivers of fruit production variability of an economically and ecologically important long-lived Amazonian tree, <https://doi.org/10.1038/s41598-021-81948-4>, *Sci. Rep.*, 11, 2563 (2021).

UNICAFE.1996. Manual de Caficultura Nicaragüense. Primera Edición. Managua, Nicaragua. Editorial CENACOR. 243p.

Wabo, E. (1999). ESTRUCTURA y DENSIDAD. Obtenido de la web.

Zepeda, B.E.M. y Villarreal, D.M.E. 1987. Guía de densidad para *Pinus hartwegii*. Lindl., Zoquiapan, México. Universidad Autónoma Chapingo, División de Ciencias forestales. Chapingo, México. 52p.