



UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS



<https://doi.org/10.14483/2256201X.23641>

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

ISSN 0120-0739 • e-ISSN 2256-201X

Traslación nutrimental e incremento medio anual en teca (*Tectona grandis* L.f.), en Tabasco, México

Nutrient Transfer and Average Annual Increase of Teak (*Tectona grandis* L.f.), in Tabasco, Mexico

José Jesús Obrador-Olán ^a, Alberto Córdova Sánchez   ^{ab}, Eustolia García López ^a, Mepivoseth Castelán-Estrada ^a, David Jesús Palma-López ^a, Gilberto Villanueva-López ^c, Guillermina Pascual-Córdova ^b, José Francisco Juárez-López ^a

^a Colegio de Postgraduados. Tabasco, México. 

^b Universidad Politécnica del Golfo de México. Tabasco, México. 

^c Colegio de la Frontera Sur-Unidad Tabasco. Villahermosa, Tabasco, México. 

 Autor para correspondencia

Recibido: 21 de mayo de 2025

Aceptado: 11 de septiembre de 2025

Citación: Obrador-Olán, J. J., Córdova Sánchez, A., García López, E., Castelán-Estrada, M., Palma-López, D. J., Villanueva-López, G., Pascual-Córdova, G., & Juarez-López, J. F. (2026). Traslación nutrimental e incremento medio anual en teca (*Tectona grandis* L.f.), en Tabasco, México. *Colombia Forestal*, 29(1), e23641.

<https://doi.org/10.14483/2256201X.23641>

Highlights

- El NPK en suelo aumenta con el abono verde y una proporción de 150-60-60 kg.ha⁻¹
- La concentración nutrimental foliar aumenta con fertilización y abono verde
- La traslación nutrimental de N y P muestra una respuesta similar con 120-60-60 kg.ha⁻¹
- En teca de 3.3 años de edad, el incremento medio anual en altura fue de 3.12 m.año⁻¹
- En teca de 4.7 años, el incremento medio anual en diámetro, altura total y volumen no respondió a la fertilización

Resumen

La traslación nutrimental es la cantidad de nutrientes que son movilizados desde las hojas senescentes a otros tejidos de los árboles. El objetivo de este estudio fue estimar la traslación nutrimental y el

incremento medio anual (IMA) en diámetro, altura y volumen por efecto de la fertilización química y un abono verde (AV) en plantaciones de teca (*Tectona grandis* L.f.). En parcelas experimentales, se aplicaron tratamientos de fertilizante NPK a los dos, tres y cuatro años de edad. Mediante un diseño de parcelas divididas, se estableció *Crotalaria juncea* en callejones como AV. La traslación nutrimental del N (6.75 %) no fue favorecida por el AV, pero sí por los tratamientos con fertilización química. La altura presentó un IMA de 3.12 m.año⁻¹ a los 3.3 años, y a los 4.7 años fue mayor, con AV * 120-60-60 kg.ha⁻¹. El tratamiento testigo a los 4.7 años mostró los IMA de diámetro y volumen más bajos con AV, presentando diferencias significativas.

Palabras clave: abono verde, árbol, concentración foliar, fertilización, hojarasca, suelo

Abstract

Nutrient transfer is the amount of nutrients mobilized from senescent leaves to other tree tissues. The objective of this study was to estimate the nutrient transfer and the mean annual increment (MAI) in diameter, height, and volume as affected by chemical fertilization and a green manure (GM) in teak (*Tectona grandis* L.f.) plantations. In experimental plots, NPK fertilizer treatments were applied at two, three, and four years of age. Using a split-plot design, *Crotalaria juncea* was established in alleys as GM. Nitrogen transfer (6.75%) was not favored by the GM, but it was by the chemical fertilization treatments. Height showed an MAI of 3.12 m.year⁻¹ at 3.3 years, and it was higher at 4.7 years with GM * 120-60-60 kg.ha⁻¹. The control treatment at 4.7 years showed the lowest diameter and volume MAIs with GM, with significant differences.

Keywords: green manure, tree, foliar concentration, fertilization, leaf litter, soil

INTRODUCCIÓN

El árbol de teca puede crecer en diferentes tipos de suelos. No obstante, para su óptimo desarrollo, los mejores son los suelos profundos, bien drenados y fértiles, especialmente los aluviales (Fernández Moya *et al.*, 2014a). Además, la estructura, la porosidad, el drenaje del suelo y su contenido de nutrientes influyen en la calidad de la madera (Ypushima Pinedo *et al.*, 2014). En este contexto, el nitrógeno (N), el potasio (K) y el calcio (Ca) son elementos muy importantes, pues corresponden a los nutrientes absorbidos en mayor proporción por los árboles de teca (Fernández Moya *et al.*, 2014b; Zhou *et al.*, 2016). En condiciones naturales, las plantaciones de teca requieren de una temperatura de 24-28 °C y una precipitación media anual entre 1250 y 3750 mm, con una estación seca bien definida—generalmente, la aridez o el anegamiento limita su crecimiento (Vaides López *et al.*, 2019; Osuri *et al.*, 2020).

La traslación de nutrientes se refiere a la cantidad total de elementos movilizados desde las hojas senescentes hacia otros tejidos en crecimiento activo (Zhu *et al.*, 2019). Esta es una de las estrategias más importantes que se observan en los árboles forestales, cuyo fin es garantizar la disponibilidad inmediata de nutrientes para su crecimiento (Paudel *et al.*, 2015). Cuando los nutrientes son escasos en el suelo, la eficiencia de su absorción aumenta (López Hernández *et al.*, 2022). La hojarasca producida por la teca es el principal mecanismo de traslación de nutrientes hacia el suelo, y aporta materia orgánica para la productividad y fertilidad del medio (Odiwe *et al.* 2016; Vigulu *et al.* 2017). Algunos nutrientes como el N, el fosforo (P) y el K pueden

movilizarse fácilmente desde las hojas maduras hacia las que están en pleno crecimiento ([Alcántar González et al., 2016](#)).

El crecimiento adecuado de los árboles de teca requiere una dosis adecuada de fertilización con macronutrientes ([Basave Villalobos et al., 2016](#)). La mayor concentración de nutrientes en el árbol se encuentra en la biomasa foliar, que acumula del 20 al 50 % del total ([Alvarado, 2016](#)). [Salcedo Pérez et al. \(2014\)](#) reportaron que las hojas del estrato superior (*i.e.*, las más jóvenes) tienen una mayor concentración de N, P y K, y están relacionadas con la movilidad preferencial de estos nutrientes en el sistema vascular. En contraste, el Ca y el magnesio (Mg) suelen encontrarse en porcentajes más altos en hojas maduras.

En Costa Rica, en plantaciones de teca de un año de edad, [Fernández Moya et al. \(2017\)](#) encontraron deficiencias de Mg, P, azufre (S), hierro (Fe) y zinc (Zn). A los dos años y medio, además, observaron deficiencias de N, Ca, K y boro (B).

[Balam et al. \(2015\)](#) encontraron resultados significativos en el incremento medio anual (IMA) de diámetro con 3.7 cm.año⁻¹ al aplicar 45 g de N por árbol en plantaciones de teca de dos años. Otros estudios sobre fertilización en plantaciones jóvenes de teca, como los de [Fernández Moya et al. \(2014a\)](#), obtuvieron resultados favorables tras la aplicación de dosis de 30-40 g de N y de 15-20 g de P y K por planta en India, y dosis de fertilización de 10-12 g de N, 24-30 de P y 10-12 de K en Costa Rica.

La nutrición vegetal tiene un efecto en la productividad y las tasas de crecimiento. Es por ello que se diseñan dosis de fertilización bien balanceadas, con el propósito de mejorar el vigor de la planta y su resistencia a plagas. En la primera etapa de crecimiento de la teca, la nutrición es básica, por lo que una fertilización oportuna ofrece grandes posibilidades de éxito ([Alvarado, 2016](#)). La importancia de calcular el IMA en plantaciones forestales comerciales radica en que este indicador expresa la media del crecimiento total a cierta edad del árbol. Con esta información, se puede obtener el incremento en diámetro, altura y volumen para diferentes edades ([Hernández Ramos et al., 2019](#)).

Con base en lo anterior, el objetivo de este trabajo fue estimar el efecto de la fertilización química por NPK y abono verde en el almacenamiento de hojarasca, la concentración nutrimental foliar, la traslación nutrimental y el IMA en diámetro, altura y volumen en plantaciones de teca en Tabasco, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Esta investigación se realizó en la empresa Agropecuaria Santa Genoveva (ASG), en un terreno de 2.2 ha de plantaciones de teca, donde se aplicaron tratamientos de fertilización química y un abono verde (AV). El sitio de estudio está ubicado en el municipio de Balancán, Tabasco, México (coordenadas UTM: 0690555 m E, 1974127 m N). El clima predominante es cálido subhúmedo, con lluvias en verano, *i.e.*, Aw2(x). La precipitación media anual de la zona es de 1500 mm, y la temperatura media es de 26.5-27 °C ([Aceves & Rivera, 2019](#)). La altitud es de 42 m. Según un estudio preliminar de fertilidad, el suelo es franco arcillo-arenoso, con un pH de 7.5 (medianamente alcalino). El contenido de materia orgánica del suelo (MOS) es de 3.5 %, lo que

corresponde a un nivel medio. La capacidad de intercambio catiónico (CIC) del sitio es de $22.8 \text{ cmol}_{(+)} \text{ kg}^{-1}$, *i.e.*, de nivel medio. El nitrógeno total (Nt), de 0.14 %, corresponde a una concentración media. El P, con $7.6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, presenta un contenido medio. En cuanto a las bases intercambiables, el Ca reporta un contenido alto ($12.3 \text{ cmol}_{(+)} \text{ kg}^{-1}$), el Mg uno bajo ($0.62 \text{ cmol}_{(+)} \text{ kg}^{-1}$) y el K uno muy bajo ($0.15 \text{ cmol}_{(+)} \text{ kg}^{-1}$). Los métodos y la interpretación empleados en este trabajo se alinearon con la norma oficial mexicana NOM-021-RECNAT-200 ([SEMARNAT, 2002](#)).

Este experimento inició en el año 2019 (a los dos años de edad de la plantación), utilizando un clon de teca producido por la empresa ASG, el cual contaba con un arreglo de marco real de 3.5 m entre plantas y de 3.5 m entre surcos. El diseño experimental empleó parcelas divididas. El factor A correspondió al AV x cuatro tratamientos—el factor B fue la dosis de fertilizante—, con cuatro repeticiones, para un total de 32 unidades experimentales ([Tabla 1](#)). La unidad experimental consistió en 12 árboles. Este diseño se replicó con un aumento en la dosis a los tres y cuatro años (2020 y 2021) ([Tabla 1](#)).

Tabla 1. Tratamientos de fertilización aplicados a plantaciones jóvenes de teca en Tabasco, México

Año	Tratamiento	Dosis kg.ha-1		
		N	P	K
2019	1	0	0	0
	2	60	60	60
	3	90	60	60
	4	120	60	60
2020 - 2021	1	0	0	0
	2	120	60	60
	3	150	60	60
	4	180	60	60

Como fuente de fertilizante, se utilizó urea (46-00-00), fosfato diamónico (18-46-00) y cloruro de potasio (00-00-60). Los fertilizantes fueron enterrados a 20 cm de profundidad, en dos orificios al norte y sur, en la zona de goteo de cada árbol. 16 parcelas recibieron AV y las dosis de fertilizante, mientras que las otras 16 parcelas solo recibieron las dosis. Como AV, se utilizó *Crotalaria juncea* (20 kg de semilla por ha^{-1}) y se sembró al voleo en los callejones de la plantación. Posteriormente, a los 60 días de siembra, el AV se incorporó al suelo con labranza convencional (paso de rastra a una profundidad de 15 cm).

El modelo estadístico del experimento se muestra en la [Ecuación \(1\)](#).

$$Y_{ijk} = \mu + B_k + \alpha_i + \varepsilon_{ik} + \beta_j + \alpha\beta_{ij} + \delta_{ijk} \quad (1)$$

$i = 1, 2, \dots; j = 1, 2, 3, 4, \dots; k = 1, 2, 3, 4, \dots$

Donde: Y_{ijk} = observación en la ijk -ésima unidad experimental; μ = media poblacional; B_k = efecto del k -ésimo bloque; α_i = efecto del i -ésimo factor A (parcela dividida); ε_{ik} = error de factor B; β_j = efecto del j -ésimo factor B de fertilización química; $\alpha\beta_{ij}$ = efecto de la interacción entre el i -ésimo factor A (con y sin AV) y el j -ésimo factor B (fertilización química); δ_{ijk} = efecto de la interacción entre el i -ésimo factor A, el j -ésimo factor B y el k -ésimo bloque.

Fertilidad de suelos y concentración foliar

Seis meses después de la tercera aplicación de los tratamientos (2021), se realizaron 32 muestreos de suelo para determinar su fertilidad. Esto se hizo mediante una barrena de acero inoxidable. Las muestras se depositaron en bolsas de plástico ([Salgado García et al., 2013](#)) y se llevaron al laboratorio, donde fueron secadas a temperatura ambiente, molidas y tamizadas (con malla de 2 mm), en aras de analizar el Nt con el método Kjeldahl; y el P con el método Olsen; el K, Ca y Mg por absorción atómica con acetato de amonio 1 N, pH 7.0, con el método electroquímico—de acuerdo con la norma NOM-021-RECNAT-2000, [SEMARNAT \(2002\)](#).

Para los análisis de la concentración foliar, se colocaron trampas biológicas de manera aleatoria, una en cada parcela (tratamiento). Estas trampas fueron elaboradas utilizando malla fina (monofilamento), con dimensiones de 1.5 x 1.5 m. Se sujetaron a estacas para que no tocaran la superficie del suelo, con el fin de evitar cualquier tipo de contaminación—o incluso efectos de mineralización. La hojarasca seca (Hs) se llevó al laboratorio y se secó a 70 °C en una estufa con circulación forzada de aire, hasta alcanzar un peso constante ([Murtinah et al., 2016](#)).

La colecta de hoja recientemente madura (Hrm) se realizó a la tercera aplicación de tratamientos (2021), con el propósito de conocer la concentración de nutriente foliar y obtener el cálculo de traslación nutrimental. Se tomaron muestras de tejido vegetal del tercio inferior de la copa de cuatro árboles pertenecientes a cada una de las parcelas experimentales (tratamientos), los cuales fueron seleccionados aleatoriamente y estaban cerca de las trampas de colecta. Para la toma de las muestras, se utilizó una tijera forestal de pétiga. Las muestras se colocaron en bolsas de papel horadado. El material vegetal se trató en el laboratorio y se secó a 70 °C en una estufa con circulación forzada de aire, hasta alcanzar un peso constante ([Murtinah et al., 2016](#)).

Para el análisis químico de la concentración foliar en laboratorio, las muestras de hojarasca seca del tejido foliar senescente capturado en las trampas biológicas y la Hrm de la biomasa aérea tomada de los árboles, las dos muestras, se tomaron a la edad de 4.7 años. Las muestras (Hs, Hrm) fueron molidas por separado en un molino con aspas de acero inoxidable ([Salgado García et al., 2013](#)). A cada muestra se le realizaron análisis químicos para determinar sus contenidos de Nt (método semi-micro-Kjeldahl), P (método Olsen) y K, Ca y Mg (digestión con $\text{HNO}_3\text{-HClO}_4$), según la NOM-021-RECNAT-200 ([SEMARNAT, 2002](#)).

Traslación nutrimental y acumulación de hojarasca

Para el almacenamiento de la Hs, se tomaron muestras a los 2, 3.2 y 3.45 años de edad. La Hs colectada se depositó en bolsas de papel horadado, las cuales fueron etiquetadas con los datos del sitio. La Hs se llevó al laboratorio y se secó a 70 °C en una estufa con circulación forzada de aire, hasta alcanzar un peso constante ([Murtinah et al., 2016](#)). Posteriormente las muestras se pesaron con una balanza semianalítica.

El porcentaje de traslación nutrimental para cada elemento de Hrm y Hs se obtuvo a partir de la concentración foliar ([Finzi et al., 2001](#)), utilizando la [Ecuación \(2\)](#).

$$\% \text{ TN} = \frac{(\text{Hrm \%} - \text{Hs \%})}{\text{Hrm \%}} * 100 \quad (2)$$

Donde: **%TN** = porcentaje de traslación nutrimental; **Hrm %** = porcentaje de N, P, K, Ca y Mg de los análisis de Hrm; **Hs %** = porcentaje de N, P, K, Ca y Mg de los análisis de Hs.

Incremento medio anual

Después de la aplicación de los tratamientos, se midió el diámetro a la altura del pecho (DAP) con una forcipula y se estimó la altura total con una pistola Haga (± 0.1 cm) en 12 árboles de cada unidad experimental. El volumen total del árbol se calculó por medio del modelo alométrico ([Ecuación 3](#)), desarrollado por [Vacharangkura \(2012\)](#). El volumen individual se multiplicó por la cantidad de árboles por hectárea.

$$V = 0.000100712 \times \text{DBH}^{1.89445042} \times H^{0.763796917} \quad (3)$$

Donde: **V** = volumen del árbol en m^3 ; **H** = altura total en m; **DAP** = diámetro a la altura del pecho (DAP, 1.3 m).

Con las variables dasométricas (altura, diámetro y volumen), se calculó el IMA a partir de cada edad de medición. La fórmula representativa fue y/t , donde y = rendimiento en altura (m), diámetro (cm) y volumen (m^3), y t = tiempo (años) ([Hernández Ramos et al., 2019](#)).

Análisis estadístico

Con las variables de IMA en diámetro, altura total y volumen del árbol, se realizó la prueba de normalidad de Kolmogorov y el *test* de Levene para la homogeneidad de varianza. Entretanto, con las propiedades químicas de suelo, el almacenamiento de hojarasca, la concentración foliar y la traslación nutrimental, se realizó prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, además de pruebas de homogeneidad de varianza. El diseño experimental incluyó parcelas divididas, con un factor A que consistió en la aplicación de AV (*Crotalaria juncea*) y un factor B que consistió en cuatro dosis de fertilizante químico, con cuatro repeticiones. Despues de establecer los supuestos, se realizó un análisis de varianza de todas las variables, y se compararon las medias mediante la prueba de Tukey ($p < 0.05$), utilizando el *software* estadístico INFOSTAT v2020 ([di Rienzo et al., 2020](#)).

RESULTADOS

Fertilidad del suelo y concentración foliar

En términos de fertilidad del suelo, los tratamientos con fertilización química NPK mostraron concentraciones medias de N, P y Mg. El K mostró concentraciones bajas, y el Ca tuvo una concentración alta. Las dosis más altas de NPK (150-60-60 y 180-60-60) presentaron los mayores contenidos de P y K ([Figura 1](#)).

En las interacciones entre la fertilización química y el AV (Figura 1), se encontraron diferencias estadísticas significativas ($p<0.05$). Las concentraciones de N, P, K y Mg presentaron niveles medios, y solo Ca mostró niveles altos. El tratamiento que reportó el mejor efecto positivo para todos los elementos estudiados fue 150-60-60 kg.ha⁻¹ + AV.

Se observaron diferencias estadísticamente significativas para todos los nutrientes ($p<0.05$) (Tabla 2). La concentración de N en la Hrm registró el valor significativo más alto con el tratamiento 180-60-60 kg.ha⁻¹ + AV.

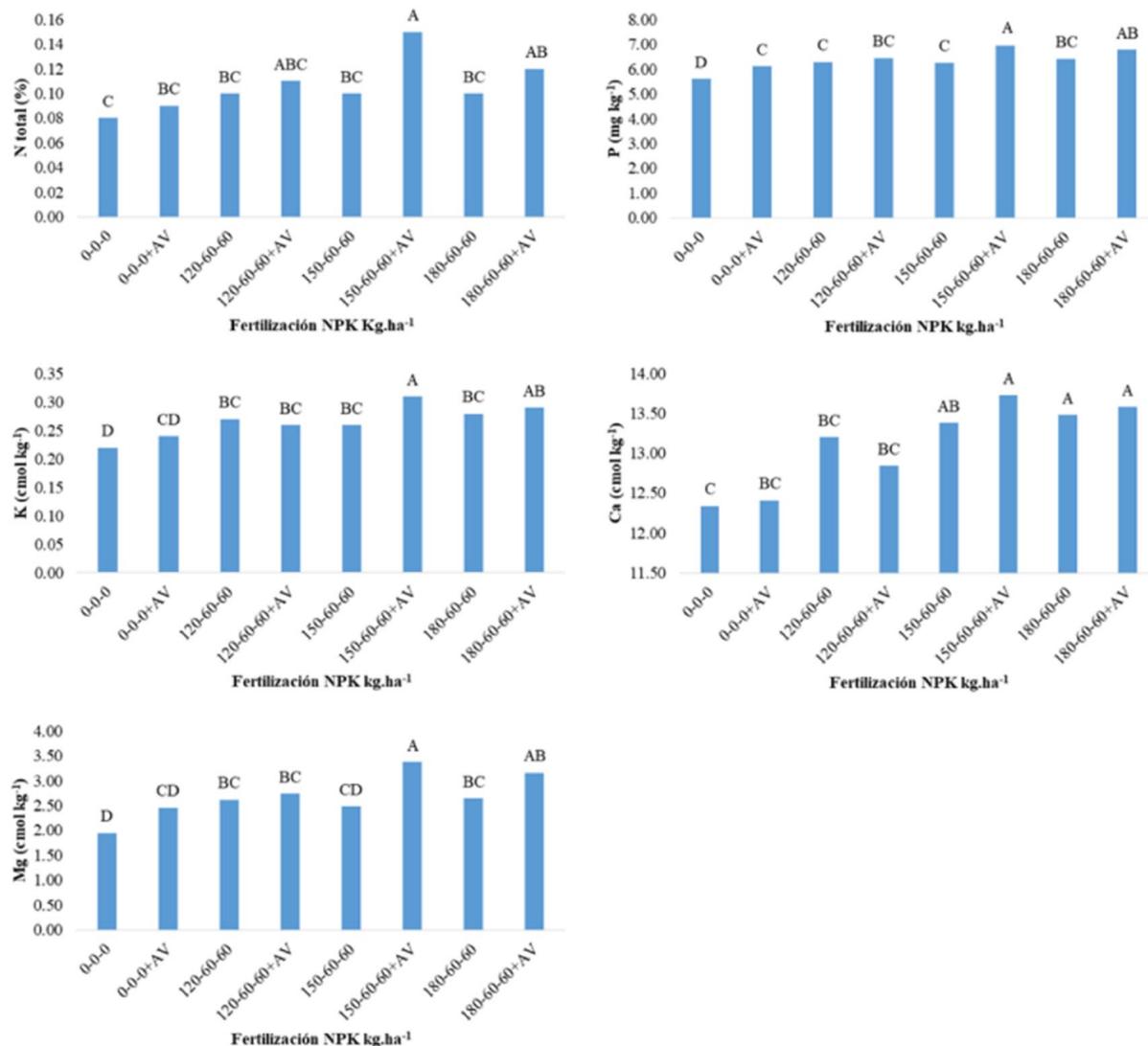


Figura 1. Fertilidad del suelo por el efecto de fertilización NPK y AV.

Letras iguales indican que no hay diferencia significativa

El contenido de P presentó su concentración más alta en Hrm y Hs con la fertilización química 180-60-60 kg.ha⁻¹+ AV. Los niveles de K fueron mayores en Hrm con el tratamiento 180-60-60 kg.ha⁻¹ + AV, mientras que, en Hs, el valor fue bajo en contraste con Hrm. El tratamiento 180-60-60 kg.ha⁻¹+ AV mostró el mejor contenido de este elemento en Hs. Ca y Mg presentaron las mejores concentraciones en Hrm y Hs con el tratamiento 180-60-60 kg.ha⁻¹ + AV.

Tabla 2. Efecto de la interacción fertilización química y el AV en la concentración foliar de la teca. Letras iguales indican que no hay diferencia significativa

Tratamientos	Concentración foliar %									
	Nitrógeno		Fosforo		Potasio		Calcio		Magnesio	
	Hrm	Hs	Hrm	Hs	Hrm	Hs	Hrm	Hs	Hrm	Hs
0-0-0	2.26H	2.12G	0.22F	0.17F	0.46D	0.35D	1.41G	1.30D	0.20E	0.15E
0-0-0 +AV	2.47D	2.35D	0.29D	0.24C	0.48D	0.41C	1.49D	1.37BC	0.22CD	0.17D
120-60-60	2.30G	2.15F	0.24EF	0.19EF	0.48D	0.37D	1.44F	1.32D	0.22D	0.16D
120-60-60+AV	2.51C	2.38C	0.31C	0.27B	0.50C	0.44B	1.53C	1.40B	0.24BC	0.19C
150-60-60	2.33F	2.20E	0.26E	0.21DE	0.51C	0.40C	1.47E	1.37C	0.24BCD	0.19C
150-60-60+AV	2.54B	2.42B	0.34B	0.30A	0.54B	0.46B	1.55B	1.44A	0.25B	0.20B
180-60-60	2.37E	2.22E	0.29CD	0.22D	0.54B	0.41C	1.49D	1.38BC	0.25B	0.19C
180-60-60+AV	2.57A	2.45 ^a	0.37A	0.31A	0.56A	0.49A	1.59A	1.46A	0.27A	0.22A

Nota: Hrm es hoja recientemente madura y Hs es hojarasca seca.

Traslación nutrimental y acumulación de hojarasca en la superficie del suelo

El aporte de la hojarasca a la edad de dos años fue de 0.47 t.ha⁻¹ de Hs. A los 3.2 años de edad, con el tratamiento 90-60-60 kg.ha⁻¹, la contribución de hojarasca fue de 1.16 t.ha⁻¹ de materia seca (ms), y, a la edad de 3.45 años el tratamiento 60-60-60 kg.ha⁻¹ tuvo el mayor aporte, con 1.44 t.ha⁻¹ (Figura 2). No hubo diferencias estadísticamente significativas ($p>0.05$).

Para los nutrientes N, P, K y Mg que se muestran en la Figura 3, se observan diferencias estadísticamente significativas ($p<0.05$) entre los tratamientos en relación con la traslación nutrimental, mientras que el Ca y el Mg no presentan diferencias significativas ($p>0.05$) (Figura 3). La traslación del N no se vio favorecida por el AV, solo en los tratamientos con fertilización química, siendo mayor en el tratamiento 120-60-60 kg.ha⁻¹, con 6.75 % de traslación; y con el tratamiento 180-60-60 kg.ha⁻¹, donde también mostró un mayor incremento en esta variable. El P tuvo un incremento similar al del N con los mismos tratamientos, siendo la traslación un poco mayor (23.31 %) con el tratamiento 180-60-60 kg.ha⁻¹, el testigo y 120-60-60 kg.ha⁻¹. El K tuvo mayor respuesta a los tratamientos con fertilización química, siendo 180-60-60 kg.ha⁻¹ y el testigo (23.71 %) los de mayor traslación. El Ca mostró un incremento en la traslación (8.48 % no significativo) con el AV y el tratamiento 120-60-60 kg.ha⁻¹. La traslación del Mg presentó una mejor respuesta con el testigo (30.34 %) y el tratamiento 120-60-60 kg.ha⁻¹ (29.58 %).

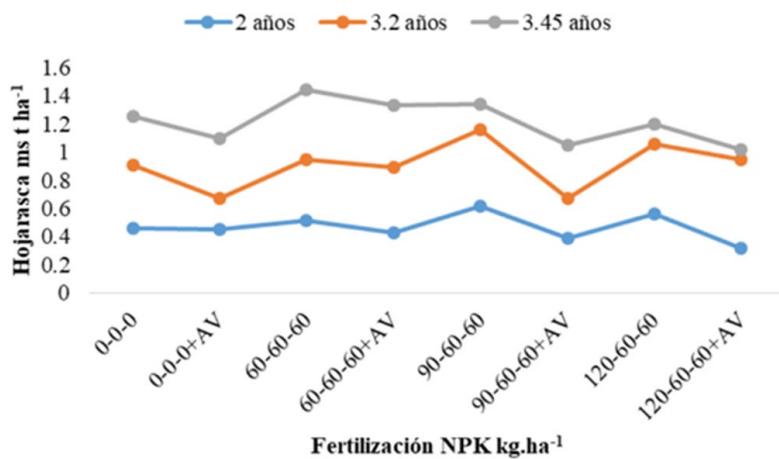


Figura 2. Efecto de los tratamientos de fertilización química y abono verde en la acumulación de hojarasca seca (ms)

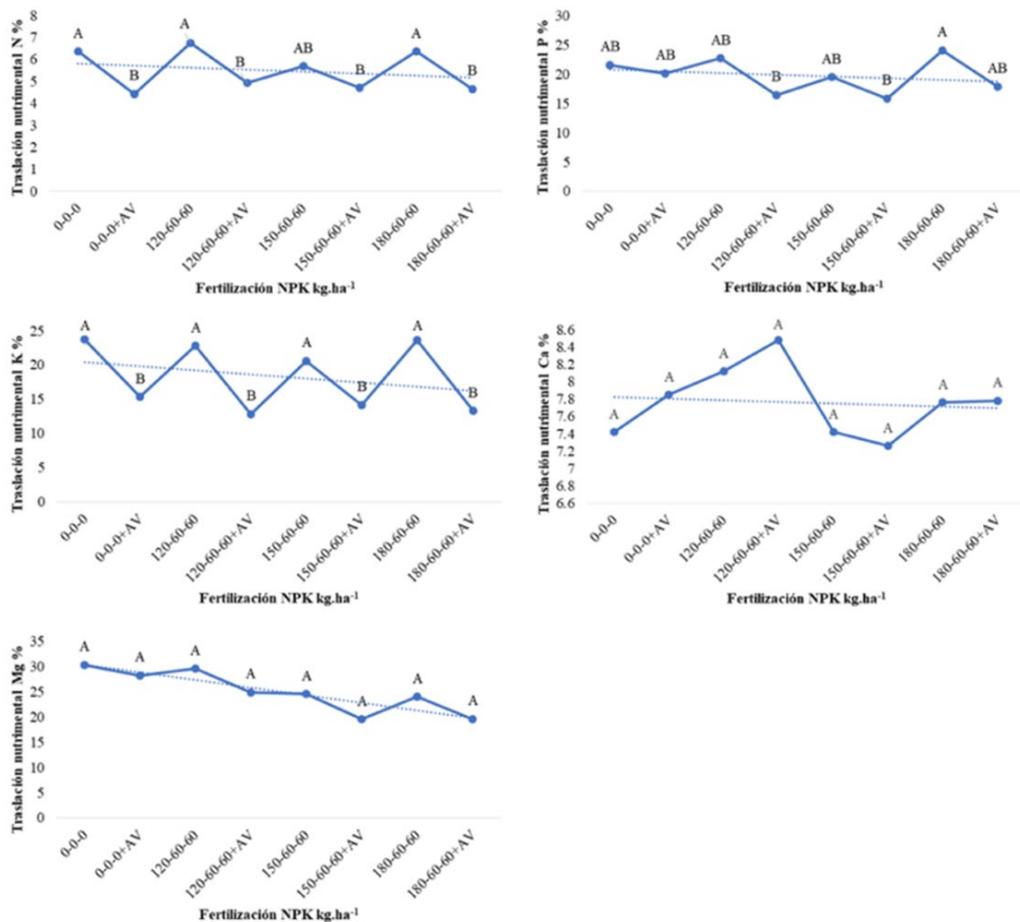


Figura 3. Efecto de la fertilización química y el AV en la traslación nutrimental de la teca.

Letras iguales indican que no hay diferencia significativa

Incremento medio anual

En cuanto al efecto de las interacciones entre los tratamientos de fertilización química y el AV en las plantaciones de 3.3 años ([Figura 4](#)), se identificaron diferencias estadísticamente significativas ($p>0.05$). En los incrementos en diámetro y volumen total ($4.5 \text{ cm.}año^{-1}$ y $22.07 \text{ m}^3 \text{ ha.}año^{-1}$) llama la atención que el tratamiento testigo sin AV presentó valores significativamente superiores ($p<0.05$). Respecto al incremento en la altura total ($3.12 \text{ m.}año^{-1}$), el tratamiento $120\text{-}60\text{-}60 \text{ kg.}ha^{-1} + \text{AV}$ indicó una tendencia significativa a aumentar. En contraste, los IMA en DAP y volumen total no se vieron afectados ($p<0.05$).

A los 4.7 años, el testigo presentó los valores más altos en todas las variables estudiadas (*i.e.*, IMA en altura total, diámetro y volumen total). Los IMA de la altura y el volumen totales mostraron un gradiente significativo ($p<0.05$) de mayor incremento con el aumento de la fertilización y la aplicación del AV ([Figura 5](#)). Entre tanto, el IMA del DAP no respondió a la aplicación de los tratamientos, ni al AV.

DISCUSIÓN

Fertilidad del suelo y concentración foliar

Al inicio del experimento, el Mg y K del suelo mostraron niveles bajos y muy bajos respectivamente. Sin embargo, después de aplicar fertilización química y AV ($150\text{-}60\text{-}60 \text{ kg.}ha^{-1} + \text{AV}$), las concentraciones aumentaron a niveles medios, junto con las de N y P. Solo el Ca permaneció en niveles altos según la NOM-021-REC-NAT-2000 ([SEMARNAT, 2002](#)). [Hui et al. \(2017\)](#) afirman que los fertilizantes químicos (NPK) pueden mejorar la fertilidad del suelo y la productividad de los cultivos si se aplican de manera racional y continua. [Dabin et al. \(2016\)](#) han encontrado que los AV constituyen una estrategia eficiente para disminuir la dependencia de fertilizantes químicos, y han demostrado que aumentan los rendimientos.

La concentración foliar de nutrientes en la biomasa aérea (Hrm) fue mayor que la de la hojarasca (Hs), variando de mayor a menor en la siguiente secuencia (%: Hrm, Hs): N(2.57, 2.45) > Ca(1.59, 1.46) > K(0.56, 0.49) > P(0.37, 0.31) > Mg(0.27, 0.22)—estos valores son adecuados ([Alvarado Hernández et al., 2022](#)). En cuanto a la concentración foliar en la Hrm, [Alvarado Hernández et al. \(2022\)](#) encontraron una secuencia similar a la registrada en este estudio, *i.e.*, N(1.98) > Ca(1.25) > K(0.76) > Mg(0.35) > P(0.14), aunque las concentraciones nutrimentales fueron bajas, excepto en el caso del K. Otros tipos de ambiente de clima y suelo, como los bosques húmedos tropicales, son más eficientes en la utilización de N y Mg. Por el contrario, los bosques secos tropicales son más eficientes en el uso de P y K ([Cavalcante Raulino et al., 2020](#)). Esto explica la relación y la secuencia de la concentración foliar, que dependen de la especie, la edad y la zona climática.

Las altas concentraciones foliares observadas en este estudio pudieron deberse al aporte del AV y la fertilización química. En esta línea, en plantaciones de teca de tres y ocho años, [Murillo et al. \(2014\)](#) encontraron el mismo orden de concentración foliar, *i.e.*, N(1.9) > Ca (1.06) > K(0.66) > Mg(0.27) > P(0.12), en suelos ácidos en Panamá.

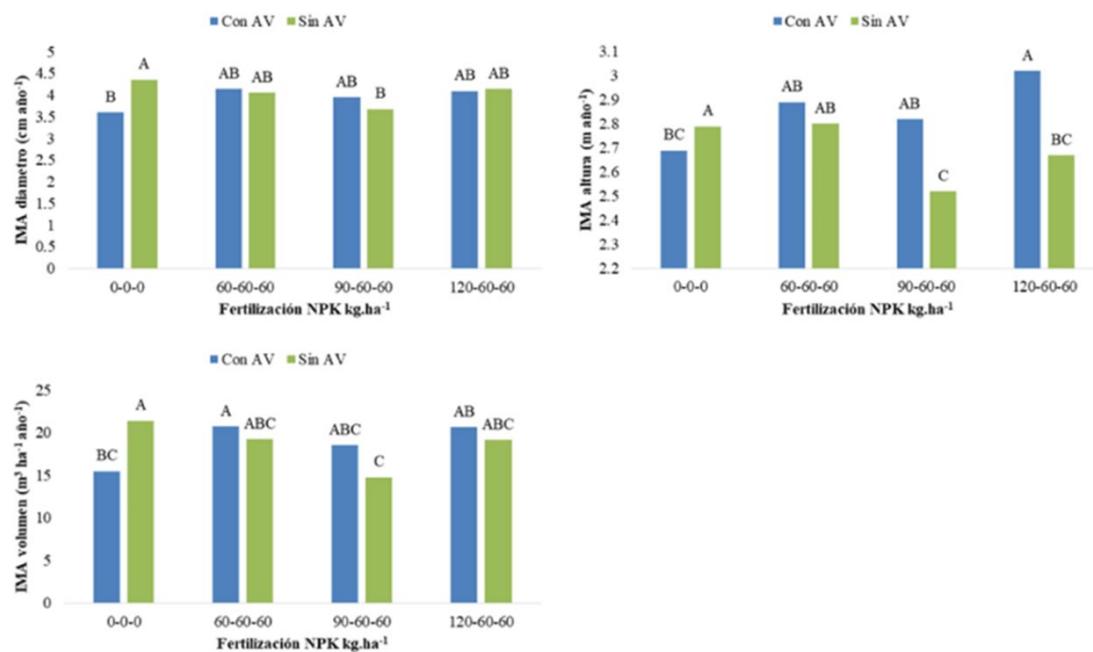


Figura 4. Efecto de la fertilización NPK y el AV en el IMA de la teca a la edad de 3.3 años.

Letras iguales indican que no hay diferencia significativa

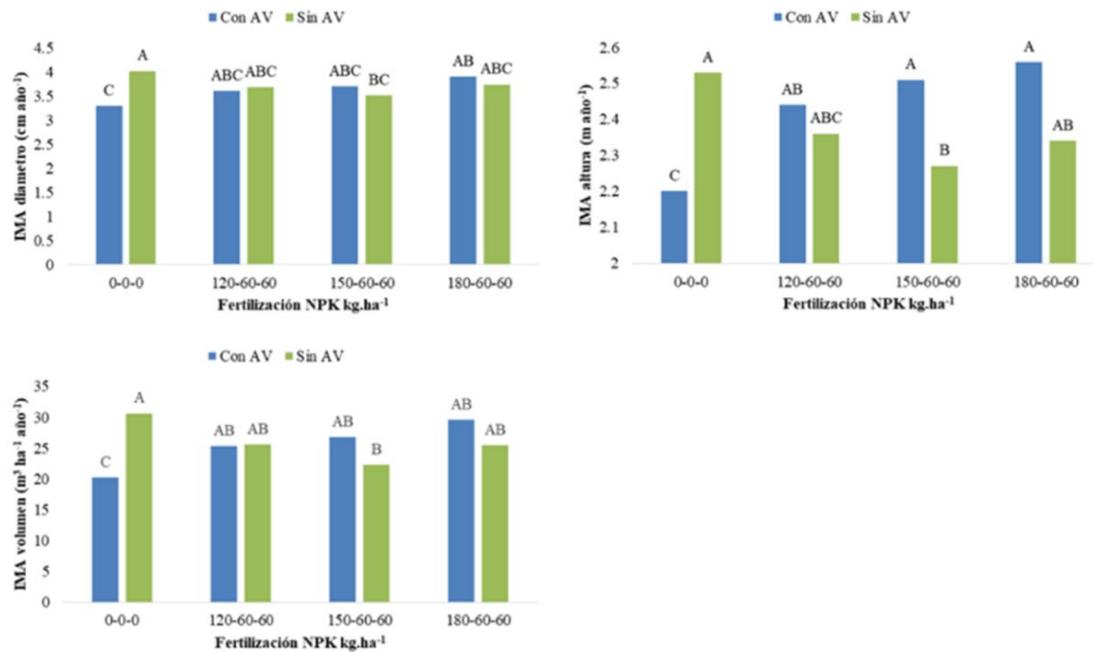


Figura 5. Efecto de la fertilización NPK y el AV en el IMA de la teca a la edad de 4.7 años de edad.

Letras iguales indican que no hay diferencia significativa

Por su parte, al evaluar la secuencia de nutrientes en la hojarasca de plantaciones de teca de 12 y 19 años, [Murtinha et al. \(2016\)](#) encontraron los niveles más altos para Ca y los más bajos para P. El orden de las concentraciones en la plantación de 12 años fue Ca > Mg > K > N > P, mientras la de 19 años registró el N en segundo lugar: Ca > N > Mg > K > P. Otros autores como [Maza et al. \(2023\)](#) mencionan que el mayor contenido de Ca se debe a que suelen encontrarse altos niveles de este elemento en los suelos forestales, además de ser menos móvil en la planta que el N, el P, el K y el Mg. Se considera que el Ca no se puede mover de un sistema viejo a uno más joven. En esta línea, en plantaciones adultas de teca en Indonesia, [Mochamad et al. \(2019\)](#) encontraron que las hojas maduras son más ricas en Ca y Mg que las hojas jóvenes.

Traslación nutrimental y acumulación de hojarasca en la superficie del suelo

En cuanto a la acumulación de hojarasca, conforme van creciendo, los árboles de teca brindan un mayor aporte al suelo en forma de nutrientes y materia orgánica, por lo cual requieren de una menor aplicación de fertilizantes, dado el incremento en su biomasa radical, que permite una mejor exploración y toma de nutrientes ([Córdova Sánchez et al., 2023](#)). En un bosque de teca en Indonesia, [Murtinah et al. \(2016\)](#) reportaron acumulaciones de hojarasca seca de 8.56 y 10.21 t.ha⁻¹ a los 12 y 19 años respectivamente.

Los elementos que presentaron una mayor traslación en las plantaciones clonales de teca mayores de cinco años fueron el Mg, el P y el K. Entretanto, los de menor traslación fueron el Ca y el N. [Tully et al. \(2013\)](#) mencionan que los nutrientes se traslocan a los ápices de crecimiento de diferentes órganos, *i.e.*, a raíces y ramas, pero sobre todo a las hojas nuevas. El N se trasloca a los tejidos leñosos antes de la senescencia de las hojas. En especies caducifolias, se trasloca al follaje para formar nuevas hojas y, con ello, favorecer el crecimiento y desarrollo de los árboles ([Samra & Raizada, 2002](#)). Al estudiar un ecosistema boscoso con clima templado en Argentina, [Mendoza et al. \(2014\)](#) observaron la traslación nutrimental de N (14.5-25.6 %), P (11.6-26.1 %), K (11.3-55.2 %), Ca (4.9-8.7 %) y Mg (4.0-13.8 %) en un bosque inicial (*Acacia caven*) y en uno maduro (*Celtis tala*), con valores superiores a los reportados en este documento. En plantaciones de *Acacia mangium* de 12 años de edad, establecidas en un suelo ácido de baja fertilidad, [Castellano et al. \(2010\)](#) encontraron que los nutrientes de mayor traslación fueron el N (40.38 %), el P (74.26 %) y el K (68.57 %). Por otro lado, los de menor traslación fueron el Ca y el Mg. [Tsujii et al. \(2017\)](#) sostienen que los árboles presentan una traslación relativamente mayor de un nutriente si este es más limitante en el suelo en su etapa de crecimiento. La mayoría de los nutrientes estudiados se encontraron en concentraciones medias. El suelo en que se plantó la teca fue un vertisol lético de textura arcillosa, baja impermeabilidad y fertilidad mediana-alta ([Palma López et al., 2017](#)). No obstante, las aplicaciones constantes de fertilizante y el mecanismo de absorción de nutrientes de las especies forestales favorecen el incremento de la fertilidad química, física y biológica del suelo ([Urbina et al., 2021](#)).

Incremento medio anual

Según los resultados obtenidos, los IMA en diámetro y altura total disminuyen a medida que las plantaciones van creciendo. A los 3.3 años, se observaron los incrementos más altos (4.5 cm.año⁻¹ y 3.2 m.año⁻¹ para el diámetro y la altura total respectivamente), los cuales disminuyeron en la misma plantación a los 4.7 años

(4.02 cm.año⁻¹, 2.56 m.año⁻¹). Estos valores son mayores a los reportados por [Salcedo Pérez et al. \(2019\)](#) a la edad de seis años en plantaciones de teca en Nayarit. Estos autores obtuvieron IMA en diámetro y altura total bajos (2.2 cm.año⁻¹, 2.3 m.año⁻¹). Los resultados de este estudio se asemejan a los reportados por [Muñoz Flores et al. \(2021\)](#) en plantaciones de teca de tres y siete años, observándose los mayores IMA en las plantaciones jóvenes.

Los IMA en diámetro, altura total y volumen total mostraron diferencias estadísticamente significativas, aunque el testigo con y sin AV y la mayoría de los tratamientos con fertilización química tuvieron un comportamiento similar. [Balám Che et al. \(2015\)](#) encontraron un IMA en diámetro de 3.8 cm.año⁻¹ tras aplicaciones de 90 kg.ha⁻¹ N en plantaciones de teca de dos años de edad, con diferencias significativas. En este estudio, los IMA en altura y volumen total respondieron a los tratamientos con fertilizante químico (60-60-60 y 120-60-60 kg.ha⁻¹). [Fernández Moya et al. \(2017\)](#) realizaron un experimento de fertilización en plantaciones de teca de tres, seis y diez años, observando una respuesta favorable en el diámetro y el volumen al aumentar los niveles de N (0, 26.8, 53.6, 73.7 g planta). Sin embargo, en la última edad el nivel de N disminuyó, siendo el testigo el de mayor efecto.

[Wittwer et al. \(2017\)](#) indican que el uso de AV puede incrementar el rendimiento hasta en un 24 % en el cultivo de maíz bajo sistemas orgánicos de labranza reducida, pero solo en un 2 % en sistemas convencionales. Adicionalmente, [Shashi et al. \(2023\)](#) mencionan que *Crotalaria juncea* puede acumular más N en suelos arcillosos en comparación con los arenosos, reduciendo las pérdidas en campo. En este estudio, solo la altura mostró un efecto positivo tras el incremento en los niveles de N y el uso de AV a la edad de 3.3 años.

CONCLUSIONES

La fertilidad de suelo aumentó de muy baja y baja a media gracias al efecto de los tratamientos con fertilización química y AV. En cuanto a la concentración foliar en Hrm, el tratamiento 180-60-60 kg.ha⁻¹+ AV presentó el mayor efecto en todos los nutrientes evaluados. La acumulación de hojarasca no presentó diferencias estadísticas; a los 3.45 años de edad, y con la dosis 60-60-60 kg.ha⁻¹, solo aumentó en 1.44 t.ha⁻¹. Respecto a la traslación nutrimental, se encontraron los valores más bajos de N y Ca con el tratamiento 120-60-60 kg.ha⁻¹, y los valores más altos de P, K y Mg con el tratamiento 180-60-60 kg.ha⁻¹. El IMA de los diferentes parámetros estudiados presentó una similitud estadística con el tratamiento testigo en la mayoría de los tratamientos—with la excepción de los resultados obtenidos para la edad de 3.3 años. La altura presentó el mayor incremento con la dosis más alta de fertilización química y AV.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por el apoyo otorgado al programa de doctorado en Ciencias Agrícolas bajo el convenio CVU: 219065. También agradecen al Colegio de Postgraduados, campus de Tabasco, por las facilidades brindadas durante los trabajos de campo y gabinete en el desarrollo este proyecto.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

CONTRIBUCIÓN POR AUTOR

J. J. O. O.: diseño y establecimiento del experimento, escritura. A. C. S: escritura y discusión del documento. E. G. L.: apoyo en campo y medición. M. C. E.: análisis de datos. D. J. P. L.: estudio y análisis de suelo. G. V. L: redacción y discusión sobre la concentración foliar. G. P. C.: trabajo de campo (medición dasométrica) y captura de datos. J. F. J. L.: elaboración de trampa de muestreo de hojarasca y trabajo de campo.

REFERENCIAS

- Aceves Navarro, L. A., & Rivera Hernández, B.** (2019). Clima. En: *La biodiversidad en Tabasco. Estudio de Estado* (vol. 1). CONABIO.
<https://bioteca.biodiversidad.gob.mx/janium/Documentos/14868.pdf>
- Alcántar González, Trejo Téllez, L. I., & Gómez Merino, F. C.** (2016). *Nutrición de Cultivos*. Editorial Mundi-Prensa.
- Alvarado, A. (2016).** Plant nutrition in tropical forestry. En L. Pancel & M. Köhl (Eds.), *Tropical Forestry Handbook* (pp. 1113-1202). Springer.
https://doi.org/10.1007/978-3-642-54601-3_105
- Alvarado Hernández, A., Chaves Corea, A., C. R., Chacón Madrigal, E., Rodríguez Alfaro, W., & Blanco Montero, F.** (2022). Diagnóstico foliar de nutrientes de nueve especies forestales tropicales de tres pisos altitudinales en Centro América. *Agronomía Costarricense*, 46(1), 25-45.
<http://dx.doi.org/10.15517/rac.v46i1.49866>
- Balám Che, M., Gómez Guerrero, A., Vargas Hernández, J. J., Aldrete, A., & Obrador Olán, J. J.** (2015). Fertilización inicial de plantaciones comerciales de teca (*Tectona grandis* L.f.) en el sureste de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 38(2), 205-212.
<http://dx.doi.org/10.35196/rfm.2015.2.205>
- Basave Villalobos, E., García Castillos, L. C., Castro Ríos, A., Calixto Valencia, C. G., Sigala Rodríguez, J. A., & García Pérez, J. L.** (2016). Calidad de planta de *Cedrela odorata* L. asociada con prácticas culturales de vivero. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 7(36), 65-80.
<https://doi.org/10.29298/rmcf.v7i36.60>
- Cavalcante Raulino, W. N., José Freire, F., de Alcántar Assunção, E. A., Pereira de Ataide, K. M., Vitória da Silva, H., & Fortes da Silva, A. C.** (2020). Nutrition of tree species in tropical dry forest and rainforest environments. *Ceres*, 67(1), 70-80.
<https://doi.org/10.1590/0034-737X202067010010>

Castellanos Barliza, J., & León Peláez, J. D. (2010). Caída de hojarasca y dinámica de nutrientes en plantaciones de *Acacia magnifica* (mimosaceae) de Antioquia, Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, 15(2), 289-308.

<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=319027885020>

Córdova Sánchez, A., Obrador Olán, J. J., Castelán Estrada, M., Palma López, D. J., García López, E., Villanueva López, G., & Pascual Córdova, G. (2023). Densidad de longitud de raíces finas de teca, en un vertisol lítico de Tabasco, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 10(2), 1-13.

<https://doi.org/10.19136/era.a10n2.3417>

Dabin, Z., Pengwei, Y., Na, Z., Changwei, Y., Weidong, C., & Yajun, G. (2016). Contribution of green manure legumes to nitrogen dynamics in traditional winter wheat cropping system in the Loess Plateau of China. *European Journal of Agronomy*, 72, 47-55.

<https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.09.012>

di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., González, L., Tablada, M., Robledo, C. W. (2020). *InfoStat version 2020*.

Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba.

<https://www.infostat.com.ar>

Fernández Moya, J., Alvarado, A., San Miguel Ayanz, A., Marchamalo Sacristán M. (2014a). Forest nutrition and fertilization in teak (*Tectona grandis* L.f.) plantations in Central America. *New Zealand Journal of Forestry Science*, 44, S6.

<https://doi.org/10.1186/1179-53-5395-S1-S6>

Fernández Moya, J., Murillo, R., Portuguez, E., Fallas, J. L., Ríos, V., Kottman, F., Verjans, J. M., Mata, R., & Alvarado, A. (2014b). Nutrient accumulation and export in teak (*Tectona grandis* L.f.) plantations of Central America. *iForest-Biogeosciences and Forestry*, 8, 33-44.

<https://doi.org/10.3832/ifor1089-007>

Fernández Moya, F. J., Alvarado, A., Fallas, J. L., Ayanzi, A. S. M., & Marchamalo, S. (2017). N-P-K fertilisation of teak (*Tectona grandis*) plantations: a case study in Costa Rica. *Journal of Tropical Forest Science*, 29(4), 417-427.

<https://doi.org/10.26525/jtfs2017.29.4.417427>

Finzi, A. C., Allen, A. S., de Lucía, E. H., Ellsworth, D. S., & Schlesinger W. H. (2001). Forest litter production, chemistry and decomposition following two years of free-air CO₂ enrichment. *Ecology*, 82, 470-484.

[https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2001\)082\[0470:FLPCAD\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2001)082[0470:FLPCAD]2.0.CO;2)

Hernández Ramos, J., Valdez Hernández, J. I., García Cuevas, X., Tadeo Noble, A. E., & Reyes Hernández, V. J. (2020).

Estimación de la edad de *Swietenia macrophylla* (Meliaceae) a partir del diámetro normal en poblaciones del sureste mexicano. *Revista de Biología Tropical*, 68(1), 200-217.

<https://doi.org/10.15517/rbt.v68i1.37725>

Hui, L. I., Wén Tin, F., Xing Hua, H., Ping, Z., Hong Jun, G., Hong Nan, S., & Ming Gang, X. (2017). Chemical fertilizers could be completely replaced by manure to maintain high maize yield and soil organic carbon (SOC) when SOC reaches a threshold in the Northeast China Plain. *Journal of Integrative Agriculture*, 16(4), 937-946.

[https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(16\)61559-9](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(16)61559-9)

López Hernández, J. M., González Rodríguez, H. G., Cantú Silva, I., Gómez Meza, M. V., Estrada Castillón, A. E., Contreras Guajardo, N. L., & del Valle Arango, J. I. (2022). Caída de hojarasca y retorno de nutrientes en diferentes comunidades vegetales del Noroeste de México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 9(1), 1-14.
<https://doi.org/10.19136/era.a9n1.2891>

Maza Landero, M. G., García López, E., Obrador Olán, J. J., Castelán Estrada, M., Carrillo Ávila, E., & Juárez López, J. F. (2023). Efecto de la asociación teca-crotalaria en la fertilidad de un gleysol éutrico y la comunidad de arvenses. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 10(2), 1-16.
<https://doi.org/10.19136/era.a10n2.3192>

Mendoza, C. A., Belén, T. M., Aceñolaza, P. G., Gallardo, J. F., & Pando, V. (2014). Retranslocación de nutrientes en especies dominantes de bosques del Espinal Mesopotámico (Argentina). *Bosque*, 35(2), 185-193.
<https://doi.org/10.4067/S0717-92002014000200006>

Mochamad, C., Suryo, H., Chayono, A., Ris Hadi, P., & Sugi, P. (2019). The identification of macro nutrient status of superior teak plantation (*Tectona grandis* Lin.F) by means of DRIS norms (Diagnosis and Recommendation Integrated System) in Indonesia. *Forest Science and Technology*, 15, 1-6.
<https://doi.org/10.1080/21580103.2018.1544935>

Muñoz Flores, H. J., Sáenz Reyes, T., Barrera Ramírez, R., Hernández Ramos, J., & Gómez Cárdenas, M. (2021). Diagnóstico de plantaciones comerciales de *Tectona grandis* L.f. en el trópico seco de Michoacán. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 8(3), 1-7.
<https://doi.org/10.19136/era.a8n3.3058>

Murtinah, V., Ruhiyat, D., Ruchaemi, A., & Marjena, M. (2016). The Litter Production and Nutrients Return of Teak Plantation Forest at East Kalimantan, Indonesia. *International Journal of Sciences: Basic and Applied Research*, 29(2), 99-108.
<https://gssrr.org/index.php/JournalOfBasicAndApplied/article/view/6215/3025>

Murillo, R., Alvarado, A., & Verjans, J. M. (2014). Concentración foliar de nutrientes en plantaciones de teca en la cuenca del Canal de Panamá. *Agronomía Costarricense*, 38(1), 11-28.
<https://doi.org/10.15517/rac.v38i1.15114>

Odiwe, A. I., Akinye, C. F., & Agboola, O. O. (2016). Mass loss and release through leaching in *Tectona grandis* and *Theobroma cacao* leaf litter in Ile-Ife, Nigeria. *West African Journal of Applied Ecology*, 24(1), 43-58.
<https://agris.fao.org/search/en/providers/122414/records/6473afba2437ad1e5b93895f>

Osuri, A. M., Gopal, A., Shankar Raman, T. R., DeFries, R., Cook Patton, S. C., & Naeem, S. (2020). Greater stability of carbon capture in species-rich natural forests compared to species-poor plantations. *Environmental Research Letters*, 15(3), 1-11.
<https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab5f75>

Palma López, D. J., Jiménez Ramírez, R., Zavala Cruz, J., Bautista Zúñiga, F., Gavi Reyes F., & Palma Cancino, D. Y. (2017).

Updating the classification of soils in Tabasco, México. *Agroproductividad*, 10(12), 29-35.

<https://www.revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/33>

Paudel, E., Dossa, G. G., Xu, J., & Harrison, R. D. (2015). Litterfall and nutrient return along a disturbance gradient in a tropical montane forest. *Forest Ecology and Management*, 353, 97-106.

<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.05.028>

Salcedo Pérez, E., Ypushima Pinedo, A. L., González Cruz, R., Zamora Nátera, J. F., Rodríguez Macias, R., & Sánchez Hernández, R. (2014). Efecto de las propiedades edáficas y el contenido nutrimental foliar sobre el crecimiento de teca. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 5(24), 80-91.

<https://cienciasforestales.inifap.gob.mx/index.php/forestales/article/view/321/361>

Salcedo Pérez, E., Ruiz Blandón, B. A., Hernández Álvarez, E., González Cruz, R., Bernabé Antonio, A., Orozco Guarero, E., Ramírez López, L.B., Anzaldo Hernández, J. & Delgado Fornúe, E. (2019). Propiedades del suelo y nitrógeno como indicadores del crecimiento en plantaciones comerciales de teca. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 10(52), 34-54.

<https://doi.org/10.29298/rmcf.v10i52.398>

Salgado García, S., Palma López, D. J., Castelán Estrada, M., Lagunes Espinoza, L. C., & Ortiz López, H. (2013). *Manual para muestreo de suelos, plantas y agua e interpretación de análisis para la producción sostenible de alimentos*. Colegio de Postgraduados-Campus Tabasco.

Samra, J. S. & Raizada, A. (2002). *Litter production and nutrient dynamics in tropical forest plantations of India*, Chapter 3. En M. V. Reddy (Ed.), *Management of Tropical Plantation-Forests and their Soil-Litter Systems*. Science Publishers, 61-84.

<https://ci.nii.ac.jp/ncid/BA56915415>

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) (2002). *Norma oficial mexicana NOM-021-RECNAT-2000*.

Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudio, muestreo y análisis.

<https://catalogonacional.gob.mx/FichaRegulacion?regulacionId=22947>

Shashi, S. U., Nuwandhya, S. D., Tharindu, D. N., Eranga, P. T., & Anjana, J. A. (2023). Assessing the growth potential of Sunn hemp (*Crotalaria juncea* L.) as a cover crop for major coconut-growing soils. *Trends in Horticulture*, 6(2), 1-9.

<https://10.24294/th.v6i2.3579>

Tully, K., Wood, T. E., Schwantes, A. M., & Lawrence, D. (2013). Soil nutrient availability and reproductive effort drive patterns in nutrient resorption in *Pentaclethra macroloba*. *Ecology*, 94(4), 930-940.

<https://www.jstor.org/stable/23436305>

Tsujii, Y., Onoda, Y., & Kitayama, K. (2017). Phosphorus and nitrogen resorption from different chemical fractions in senescent leaves of tropical tree species on Mount Kinabalu, Borneo. *Oecologia*, 185(2), 171-180.

<https://doi.org/10.1007/s00442-017-3938-9>

Urbina, I., Grau, O., Sardans, J., Margalef, O., Peguero, G., Asensio, D., Llusia, J., Ogaya, R., Gargallo, G. A., Langenhove, L. V., Verryckt, L. T., Courtois, E. A., Stahl, C., Soong, J. L., Chave, J., Héault, B., Janssens, I. A., Sayer, E., & Peñuelas, J. (2021). High foliar K and P resorption efficiencies in old-growth tropical forests growing on nutrient-poor soils. *Ecology and Evolution*, 11, 8969-8982.

<https://doi.org/10.1002/ece3.7734>

Vacharangkura, T. (2012). *Variable density yield model for teak plantations in the Northeast of Thailand. JIRCAS Working Report.*

https://www.jircas.go.jp/en/publication/jircas_working_report/74/33

Vaides López, E., Alvarado Hernández, A., & Moya Fernández, R. (2019). Characteristics that determine the growth and productivity of teak (*Tectona grandis* L.f.) of young plantations in Guatemala. *Agronomía Costarricense*, 43, 135-148.

<https://doi.org/10.15517/rac.v43i1.35684>

Vigulu, V. W., Blumfield, T. J., Reverchon, F., Xu, Z. H., & Tutua, S. S. (2017). Competition for nitrogen between trees in a mixed-species plantation in the Solomon Islands. *Australian Forestry*, 80(3), 135-142.

<https://doi.org/10.1080/00049158.2017.1326093>

Wittwer, R. A., Dorn, B., Jossi, W., & van der Heijden, M. G. (2017). Cover crops support ecological intensification of arable cropping systems. *Scientific Reports*, 7(1), 1-12.

<https://doi.org/10.1038/srep41911>

Ypushima Pinedo, A. L., Salcedo Pérez, E. M., Manríquez González, R., Silva Guzmán, J. A., Zamora Nátera, J. F., Hernández Álvarez, E. (2014). Propiedades de la madera y relación del estado nutrimental con el crecimiento en teca. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 5(24), 26-39.

<https://doi.org/10.29298/rmcf.v5i24.317>

Zhou, Z., Liu, S., Liang, Ma, H., & Huang, G. (2016). Growth and mineral nutrient analysis of teak (*Tectona grandis*) grown on acidic soils in south China. *Journal Forestry Research*, 28, 503-511.

<https://doi.org/10.1007/s11676-016-0324-0>

Zhu, X., Liu, W., Chen, H., Deng, Y., Chen, C., & Zeng, H. (2019). Effects of forest transition on litterfall, standing litter and related nutrient returns: Implications for forest management in tropical China. *Geoderma*, 333, 123-134.

<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.07.023>

