







Fertilización y demanda nutrimental NPK de *Swietenia macrophylla* King y *Cedrela odorata* L. en desarrollo

Fertilization and nutrient demand NPK of *Swietenia macrophylla* King and *Cedrela odorata* L. in development

Pedro Pérez-Camacho¹, José Jesús Obrador-Olán^{1*} , Mepivoseth Castelán-Estrada¹ ,
Eugenio Carrillo-Ávila² , Ángel Sol-Sánchez¹ , Alberto Córdova-Sánchez³ ,
José Francisco Juárez-López¹ 

¹Programa de maestría, Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. Periférico Carlos A. Molina s/n, CP. 86500. H. Cárdenas, Tabasco, México.

²Colegio de Postgraduados. Campus Campeche. Carretera Federal Haltunchén-Edzna km. 17.5. CP. 24450. Sihochac Champotón, Campeche. México.

³Universidad Politécnica del Golfo de México. Carretera federal Malpaso-El Bellote, km. 171, Ra. Monte adentro. CP. 86600. Paraíso, Tabasco, México.

*Autor de correspondencia: obradoro@colpos.mx

Artículo científico

Recibido: 24 de junio 2023

Aceptado: 16 de febrero 2024

RESUMEN. La caoba y el cedro son especies nativas de América Tropical y se consideran maderas preciosas tropicales más valiosas del mundo. Por lo que se han establecido plantaciones forestales a escala comercial, dándole un manejo silvícola sustentable, siendo la fertilización una de las prácticas más importantes. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de cuatro dosis de fertilización sobre el crecimiento de caoba y cedro en fase temprana en un suelo ácido de sabana, así como determinar la demanda nutrimental de NPK de cada especie. En el experimento se probaron ocho tratamientos de fertilización en las dos especies. Las variables estudiadas fueron altura total y diámetro del tallo, realizándose mediciones durante 10 meses. Para estimar la demanda nutrimental, se muestrearon cuatro árboles completos; y se determinó su concentración NPK en cada tejido (hoja, tallo y raíz). Los resultados muestran que el cedro presentó mayor crecimiento en altura y diámetro. La variable altura en la especie cedro, fue la que mostró diferencias estadísticas significativas, siendo el tratamiento 17-17-60 con las cantidades de 35 y 50 g con un incremento de 177 cm. La cantidad de nutriente de NPK que demandan ambas especies presentan una relación en el orden siguiente N>K>P. La mayor extracción de N, P y K la realiza el tallo y en menor cantidad la raíz. Y en el caso de la mayor concentración de nutriente se encuentra en las hojas. El cedro mostró mayor demanda nutrimental y mejor exploración de la rizósfera que la caoba.

Palabras clave: Altura, concentración foliar, crecimiento acumulado, diámetro, suelos de sabana.

ABSTRACT. Mahogany and cedar are native species of tropical America and are considered the most valuable tropical hardwoods in the world. Therefore, forest plantations have been established on a commercial scale, giving them a sustainable silvicultural management, being fertilization one of the most important practices. The objective of this work was to evaluate the effect of four doses of fertilization on the growth of early-stage mahogany and cedar in an acid savanna soil, as well as to determine the NPK nutrient demand of each species. Eight fertilization treatments were tested on the two species. The variables studied were total height and stem diameter, and measurements were taken during 10 months. To estimate nutrient demand, four complete trees were sampled and NPK concentration was determined in each tissue (leaf, stem and root). The results show that cedar presented greater growth in height and diameter. In the height variable in the cedar species, it was the one that showed significant statistical differences, being the treatment 17-17-60 with the amounts of 35 and 50 g with an increase of 177 cm. The amount of NPK nutrient demanded by both species presented a relationship in the following order N>K>P. The greatest extraction of N, P and K is carried out by the stem and to a lesser extent by the root. And in the case of the highest concentration of nutrient is found in the leaves. Cedar showed higher nutrient demand and better exploration of the rhizosphere than mahogany.

Keywords: Cumulative growth, diameter, Height, leaf concentration, savanna soils.

Como citar: Pérez-Camacho P, Obrador-Olán JJ, Castelán-Estrada M, Carrillo-Ávila E, Sol-Sánchez A, Córdova-Sánchez A, Juárez-López JF (2024) Fertilización y demanda nutrimental NPK de *Swietenia macrophylla* King y *Cedrela odorata* L. en desarrollo. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 11(1): e3832. DOI: 10.19136/era.a11n1.3832.

INTRODUCCIÓN

Actualmente la silvicultura cuenta con un nivel tecnológico que le permite fijar, regenerar, gestionar, proteger los bosques y cosechar sus productos de una manera racional y durable (CONAFOR 2020). En México hasta el año 2019 se contaba con 230 341 ha de plantaciones forestales comerciales, de las cuales *Swietenia macrophylla* King ocupaba el 9% y *Cedrela odorata* L. el 17% de la superficie, respectivamente (CONAFOR 2020). En México y América Central, el cedro y la caoba son comunes en los suelos bien drenados y fértiles, pero se han efectuado pocos estudios sobre su comportamiento en diferentes ambientes, así como sus requerimientos de nutrientes más allá de la etapa de plántula (García et al. 2022). Generar información sobre estos aspectos es fundamental para el desarrollo de sistemas sustentables de producción silvícola en los trópicos húmedos (García et al. 2022).

El estado de Tabasco cuenta con una superficie de 26 109 hectáreas de plantaciones forestales comerciales entre las que hay especies nativas como cedro, caoba, macuilís (*Tabebuia rosea* B.) e introducidas como teca (*Tectona grandis* L.f.), melina (*Gmelina arborea* Roxb.) y acacia (*Acacia melanoxylon* R.Br.) (CONAFOR 2012). En lo referente a la fertilización de estas plantaciones algunos estudios muestran que no existe respuesta de crecimiento y desarrollo (Hernández et al. 2011), lo cual se explica porque la demanda de nutrimentos por las plantas (sobre todo en estado juvenil) no supera el suministro natural de nutrimentos que se encuentra en el suelo (Alvarado et al. 2015). Sin embargo, otros autores mencionan que la fertilización permite obtener altas tasas de sobrevivencia y crecimiento rápido en altura y diámetro, empleando sobre todo fórmulas que incluyen a los elementos mayores NPK (Holsten y Kobe 2016).

Tampoco se tiene información documentada para determinar las dosis de fertilización de plantaciones forestales, incluso para los nutrimentos mayores NPK. Pero se sabe que los suelos agrícolas tropicales son principalmente deficitarios de N y P, y aquellos que tienen pH menor de 5 presentan además deficiencias importantes de micronutrimentos (Ramos et al. 2016). La fertilización que emplean los silvicultores en el Estado consiste en suministrar básicamente N, P y K al momento de la siembra, mediante la colocación de una pastilla (10 g; 20 N - 10 P - 5 K) de lenta liberación en la base de cada árbol (CONAFOR 2006). Tomando en cuenta el potencial que tiene la silvicultura para la región y la necesidad de establecer las dosis de fertilización para las plantaciones forestales en la entidad, se realizó este estudio que tuvo por objetivo, el evaluar el crecimiento en altura, diámetro y determinar la demanda NPK, para *Swietenia macrophylla* King y *Cedrela odorata* L. en un suelo Acrisol hiperdistri-férrico (ACdyhfr) de la sabana de Huimanguillo, en respuesta a cuatro dosis de fertilización NPK, durante la fase temprana de crecimiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El trabajo de investigación se llevó a cabo en el Rancho las Acacias, ubicado en el Ejido Las Flores, localizado entre las coordenadas 17° 49' 57" y 17° 50' 03" de latitud norte, y 93° 44' 40" y 93° 44' 32" de longitud oeste, en el municipio de Huimanguillo, Tabasco, a una altitud de 50 msnm, donde se registran temperatura y precipitación medias anuales de 26-26.5 °C y 2 200 mm,

respectivamente; el clima se clasifica como Cálido húmedo con abundantes lluvias en verano (Aceves y Rivera 2019). La selección de la parcela experimental se realizó en una de las unidades de suelos más representativas de la sabana de Huimanguillo; Acrisol hiperdistri-férrico (ACdyhfr). La región se ubicó con base a estudios anteriores (Zavala *et al.* 2014), además de tomar en cuenta las observaciones de campo (barrenaciones de suelos) y entrevistas con productores cooperantes. Para estimar la fertilidad y el suministro nutrimental del suelo, se realizaron muestreos en la parcela después que ésta fue mecanizada, se tomaron muestras de suelo a profundidad de 0-50 cm para formar muestras compuestas de 15 sub-muestras (Salgado *et al.* 2013). Las determinaciones realizadas en laboratorio fueron: pH (1:2.5 suelo:agua), conductividad eléctrica (CE), materia orgánica del suelo (MOS) por el método de Walkley y Black, Nitrógeno-total (semi-micro Kjeldahl), P disponible por el método de Olsen y Dean, capacidad de intercambio catiónico (CIC) por el método de acetato de amonio (1.0 M, pH 7.0) y bases intercambiables (BI) por extracción con acetato de amonio 1.0 M: el sodio (Na) y el potasio (K) se cuantificaron por espectrometría de emisión de flama; el calcio (Ca) y magnesio (Mg) por espectrometría de absorción atómica. También se determinó N mineral a través del NH₄ (extracción con KCl₂ N por FIAS), NO₃ (por extracción con KCl₂ N por FIAS con columna de reducción de Cd). Los métodos químicos para el diagnóstico nutrimental de suelos son los establecidos por la Norma Oficial Mexicana (SEMARNAT 2002).

Establecimiento de la plantación experimental

Las semillas que se utilizaron para establecer la plantación provienen de rodales certificados en Costa Rica. Las plántulas fueron producidas en vivero mediante tubetes, dándoles un seguimiento silvícola desde su germinación hasta el trasplante en campo. Antes de plantarlas en el sitio definitivo se tomó una muestra de 12 plantas por especie, sobre las que se realizaron análisis elementales NPK en hoja, tallo y raíz, para determinar el contenido nutrimental en el tejido. Los métodos analíticos utilizados son los de la NOM-021-RECNAT-2000. La plantación se estableció en marco real a 3*3 m. Las plantas de caoba y cedro tenían, al momento de trasplantarlas, un promedio de 32, 22 cm de altura y 0.4, 0.5 cm de diámetro respectivamente, 15 días después del trasplante se aplicaron 300 g de cal agrícola por planta para compensar la deficiencia de bases (Ca y Mg) del suelo.

Dosis de fertilización

Los resultados del análisis químico del suelo sirvieron para definir una dosis de fertilización óptima de nitrógeno, fósforo y potasio, empleando el modelo simplificado (Salgado *et al.* 2016), cuya ecuación es la siguiente:

$$DF = \frac{DEM - SUM}{EF}$$

Donde DF es la dosis de fertilización a aplicar (kg ha⁻¹), DEM la demanda de nutrimento del cultivo (kg ha⁻¹). SUM el suministro del nutrimento que aporta el suelo (kg ha⁻¹), y EF la eficiencia del fertilizante en relación a la absorción de la planta (adimensional).

Como la DEM depende del potencial productivo que tiene una plantación en una región dada, se consultaron estudios previos para estimar la demanda de las plantaciones (CONAFOR

2005). En cuanto al suministro de nutrimentos por el suelo, los análisis de las muestras indicaron un suministro alto de N y muy bajo de K, medio de P, este último nutrimento, mostró un suministro menor a la demanda de la plantación, por lo cual N y K se aplicaron como reposición a la reserva del suelo. Finalmente, por lo que respecta a EF, para la unidad de suelo en estudio se consideró con una eficiencia de fertilización del 30%. Las dosis de fertilización utilizadas fueron, para la especie caoba: 10 g (20-10-15), 20 g (17-34-30), 35 g (17-34-30), 50 g (17-34-30) y para cedro: 10 g (20-10-5), 20 g (17-17-60), 35 g (17-17-60), 50 g (17-17-60).

Tratamientos

Los silvicultores en el estado de Tabasco aplican para especies forestales, una pastilla fertilizante de lenta liberación, por lo que fue considerada como tratamiento testigo. Como tratamientos se utilizó la dosis de fertilización estimada y dos dosis más para explorar un rango de fertilización más amplio (Tabla 1).

Tabla 1. Tratamientos de fertilización probados en el estudio nutrimental de caoba y cedro en suelos de sabana, en Tabasco.

Especie	Tratamientos*			
	(Pastilla) 10 g árbol ⁻¹	20 g árbol ⁻¹	35 g árbol ⁻¹	50 g árbol ⁻¹
Caoba	20-10-5	17-34-30	17-34-30	17-34-30
Cedro	20-10-5	17-17-60	17-17-60	17-17-60

* La aplicación se hizo 30 días después del trasplante.

Diseño experimental

Plantas de caoba y cedro se establecieron en parcelas rectangulares independientes de 540 m² de superficie con 72 árboles de cada especie cada una, que incluían las unidades experimentales (UE) y los bordos. Los tratamientos se aplicaron a grupos de 18 árboles y se asignaron de manera aleatoria, por lo que la respuesta de ambas especies a los tratamientos probados fue analizada de manera independiente bajo un diseño completamente al azar (DCA). En los 12 árboles (repeticiones) centrales de cada grupo se cuantificó la variable de respuesta, cada árbol se consideró una UE.

Variables de crecimiento y demanda nutrimental evaluadas

Las variables estudiadas fueron altura total y diámetro del tallo. Se realizaron mediciones mensuales en todas las repeticiones de cada tratamiento durante 10 meses (noviembre-agosto). Para medir el diámetro se utilizó un vernier metálico (± 0.1 mm), realizando las mediciones a 15 cm de la base del tallo y para la altura total se usó una cinta métrica (± 0.1 cm). Para estimar la demanda final de NPK se talaron cuatro árboles por especie. La biomasa aérea fue dividida en tallo, ramas y hojas (Fonseca *et al.* 2020). Se consideró además la estimación de biomasa radical, para extraer la máxima cantidad de raíces, se escarbó a una profundidad de 55 cm y en un diámetro de 150 cm alrededor del tallo, que es el espacio medio que comparten los árboles (Moreno *et al.* 2005). Se seleccionaron los árboles que tenían mayor crecimiento, independientemente del tratamiento, tomando como supuesto que a partir de estos se puede calcular la demanda nutrimental máxima. La biomasa aérea (follaje, tallo y ramas) y la radical (raíz) se secaron por separado en una estufa

de aire forzado para obtener el peso de la materia seca (MS) de cada componente, para posteriormente determinar la concentración NPK en follaje, tallo y raíz.

Análisis estadísticos

Se utilizó un diseño completo al azar, las variables analizadas fueron diámetro del tallo y altura total, se hizo el ANOVA y comparación de medias por el procedimiento de Tukey ($p < 0.05$) en el software estadístico INFOSTAT 2020.

RESULTADOS

Propiedades fisicoquímicas del suelo

El suelo Acrisol (hiperdístri-férrico) presenta textura Migajón Arcillo-Arenoso, de acuerdo al valor de pH se clasifica como moderadamente ácido, con contenidos de MO y N altos (Tabla 2). Contenidos de P-Olsen medios, capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo baja; contenido de K de $0.06 \text{ Cmol}_{(+)} \text{ kg}^{-1}$ que son muy bajos. Los contenidos de micronutrientes fueron casi todos adecuados, excepto el zinc, que se encuentra deficiente.

Tabla 2. Propiedades fisicoquímicas del suelo de la parcela experimental Rancho Las Acacias, Huimanguillo, Tabasco (profundidad de 0-50 cm).

pH (1:2)	MO (%)	N (%)	P (mg kg^{-1})	Acidez Inter cambia ble	Al+H Inter cambia ble	K	Ca	Mg	Na	CIC	Fe	Cu	Zn	Mn	B	Arci lla	Lim o	Are na	Clasifi cación textural
5.2	6.5	0.16	6.45	0.30	0.45	0.06	0.71	0.44	0.34	6.9	133	0.47	0.24	18	1.94	28	13	59	Migajón arcillo- arenoso

Altura y diámetro en plantaciones de caoba

Para la altura, se observa que en los meses de noviembre a febrero hubo un crecimiento similar en todos los tratamientos, y de febrero a julio el tratamiento con 20 g (17-34-30) mostró mayor incremento. En agosto, los tratamientos con 20 y 50 g de la fórmula (17-34-30; N-P-K) indujeron un crecimiento mayor (138 cm) con respecto a los otros tratamientos. El diámetro promedio, en los meses de noviembre a febrero, presentan el mismo comportamiento de crecimiento (Figura 1). En los meses de febrero a julio se observan diferentes tasas de crecimiento del diámetro del tallo entre tratamientos, con mayor tasa de crecimiento en el tratamiento de 50 g (17-34-30; N-P-K). En el último periodo de observación, de julio a agosto, las tasas de crecimiento son muy similares, aunque ligeramente mayores en los tratamientos de 20 y 50 g.

Crecimiento acumulado de caoba

Aunque no se observaron diferencias estadísticas significativas para la altura y diámetro, en el crecimiento acumulado, durante los 10 meses de evaluación en campo, los tratamientos con 20 y 50 g de la fórmula (17-34-30) mostraron mayor crecimiento en altura y los tratamientos 10, 20 y 50 g tuvieron mayor diámetro del tallo, pero sin diferencias estadísticas entre los tratamientos para la altura ($P > F = 0.58$) y diámetro ($P > F = 0.87$), respectivamente, durante los meses de noviembre-agosto (Figura 2).

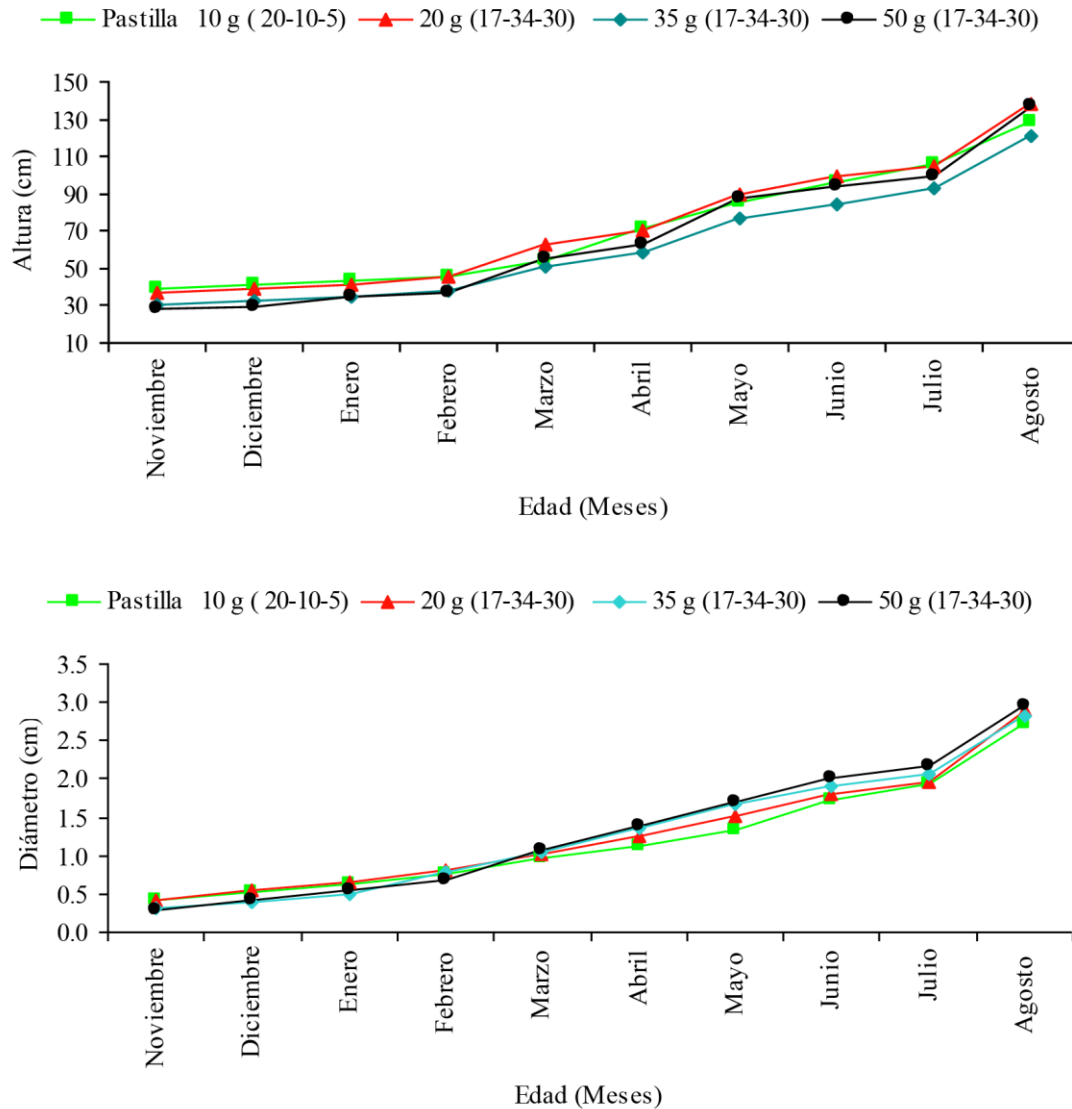
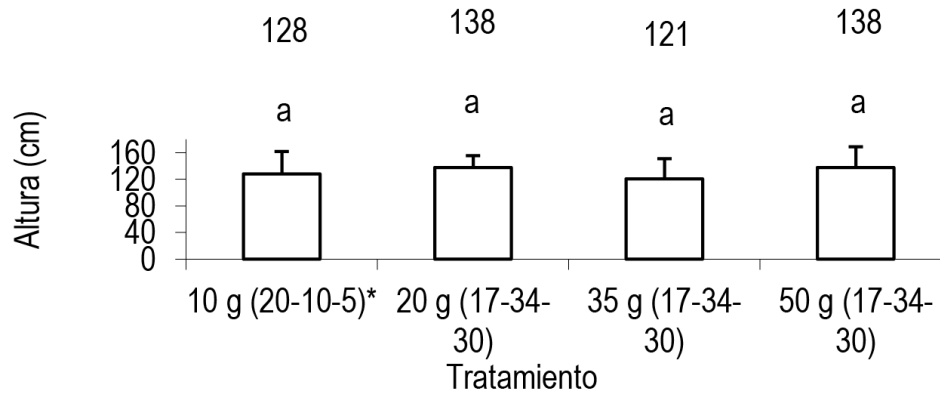


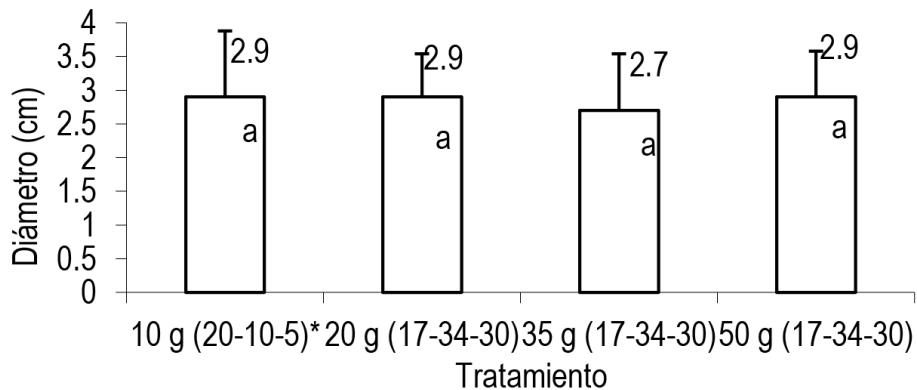
Figura 1. Relación altura-edad y diámetro-edad en plantaciones de Caoba en fase temprana de desarrollo, en la sabana de Huimanguillo, Tabasco.

Altura y diámetro en plantaciones de cedro

En la especie de cedro, durante los 10 meses de evaluación en campo (Figura 3), se observó que en los meses de noviembre a febrero el crecimiento (altura) fue similar en los cuatro tratamientos; de febrero a abril el tratamiento con 20 g presentó un ligero crecimiento en altura con respecto al resto de los tratamientos, de abril a julio el tratamiento con 50 g de fertilizante tuvo la mayor altura y finalmente, de julio a agosto se observa que los tratamientos con 35 y 50 g (17-17-60; NPK) tienen la mayor tasa de altura (177 cm). Para el diámetro del tallo en cedro se observa crecimiento temporal (Figura 3); de noviembre a diciembre hay un crecimiento similar, aunque a partir del mes de diciembre, los tratamientos presentan un comportamiento distinto, teniendo una tendencia favorable los tratamientos con 35 y 50 g (17-17-60), con una tasa de desarrollo de 3.1 cm.



*Pastilla de lenta liberación



*Pastilla de lenta liberación

Figura 2. Efecto de tratamientos de fertilización sobre la variable altura y diámetro, en plantaciones de caoba en fase temprana de crecimiento, en un suelo de sabana en Tabasco.

Crecimiento acumulado de cedro

Para los árboles de cedro en la variable altura, se observa que hay diferencias estadísticas entre tratamientos (Figura 4), los mejores son el de 35 y 50 g con la fórmula 17-17-60, para el crecimiento final obtenido al concluir el trabajo (noviembre-agosto) ($P > F = 0.039$). En el caso del diámetro no presentó diferencias estadísticas entre los tratamientos, al analizar los datos de crecimiento final del cedro a los 10 meses después del trasplante (noviembre-agosto) ($P > F 0.161$).

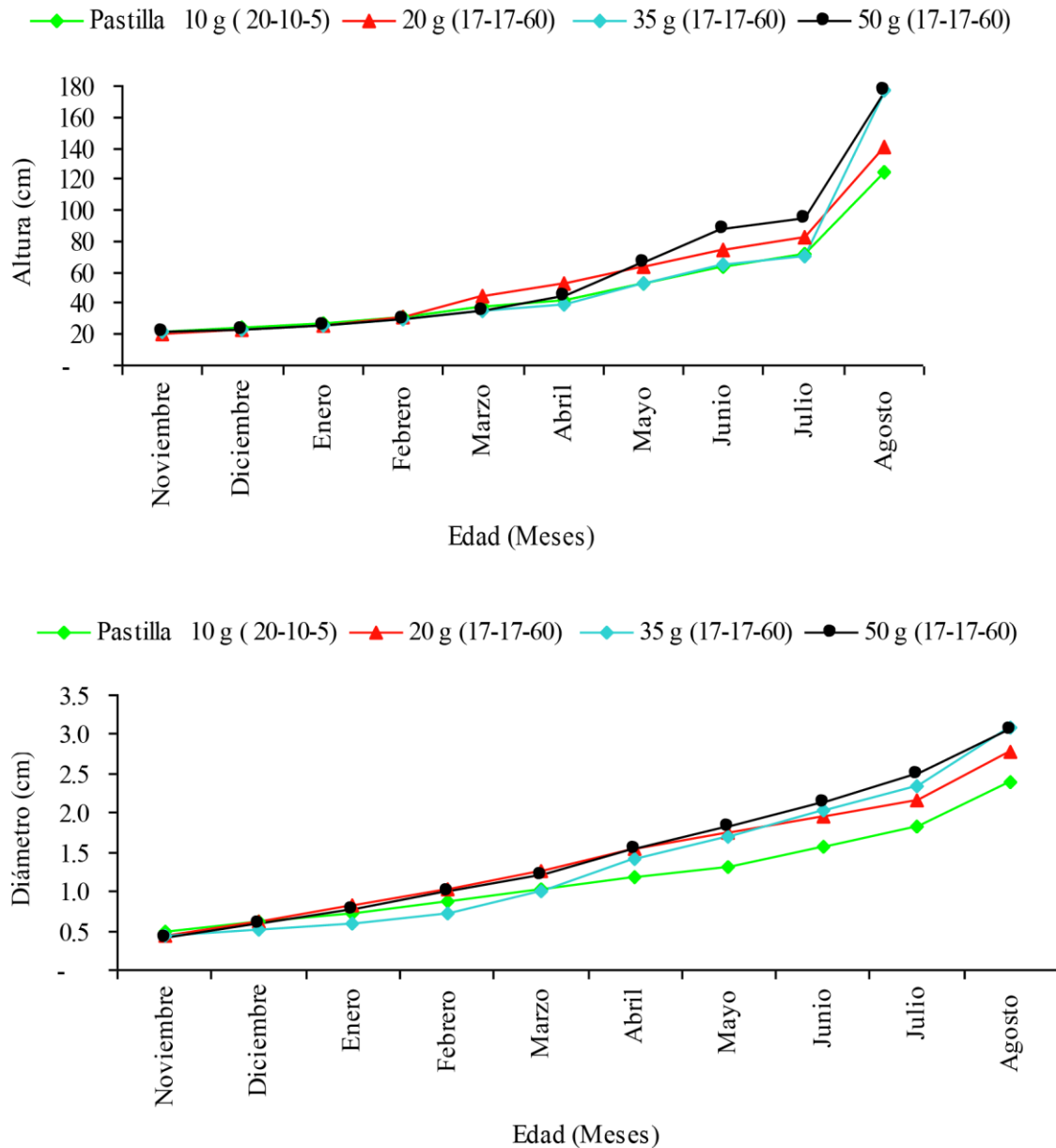
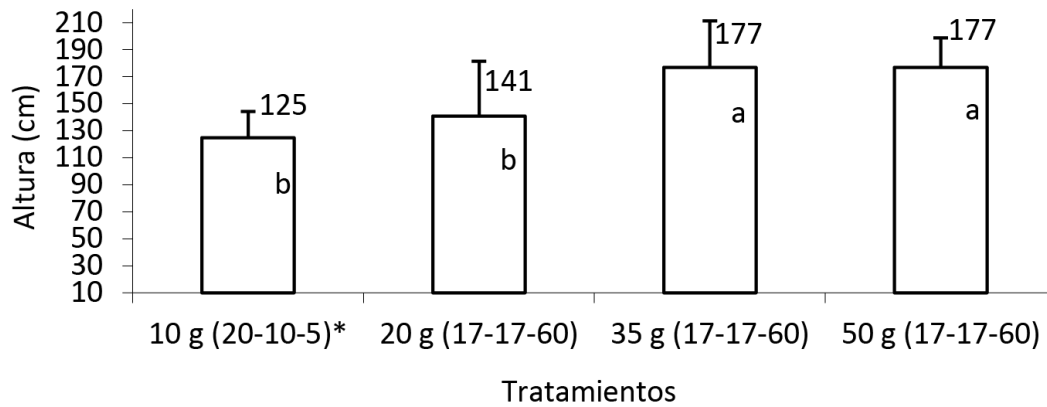


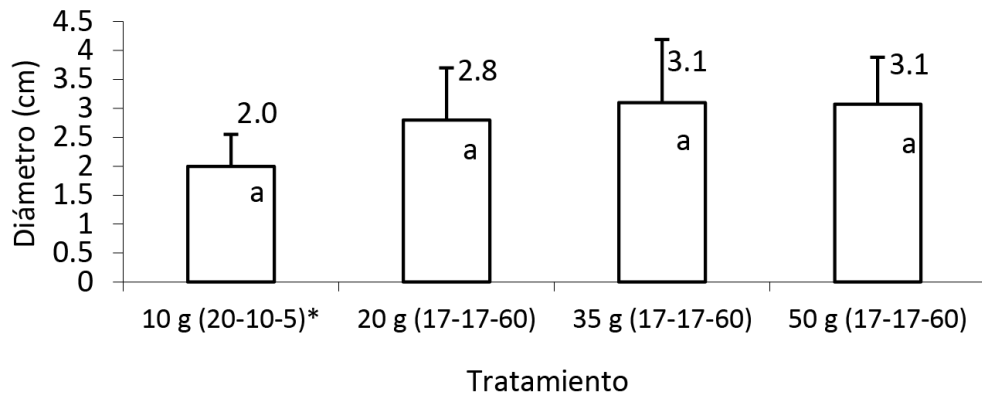
Figura 3. Relación altura-edad y diámetro-edad en plantaciones de Cedro en fase temprana de desarrollo, en la Sabana de Huimanguillo, Tabasco.

Demanda nutrimental NPK de caoba y cedro

La demanda nutrimental de ambas especies estudiadas indica que la mayor extracción de N, P y K la realiza el tallo y en menor cantidad la raíz (con excepción de N y K en cedro; donde se obtuvo un valor intermedio) pero la mayor concentración de estos nutrimentos se encuentra en las hojas (Tabla 3). La mayor biomasa de peso seco fue generada por los árboles de cedro (2 548 g árbol⁻¹) además, esta especie presentó mayor concentración nutrimental NPK en sus tres componentes, lo que indica que la demanda por nutrientes es considerablemente diferente, sin importar su relación filogenética (Tabla 3).



*Pastilla de lenta liberación



*Pastilla de lenta liberación

Figura 4. Efecto de tratamientos de fertilización sobre la variable altura y diámetro, en plantaciones de cedro en fase temprana de crecimiento, en un suelo de sabana en Tabasco, México.

Tabla 3. Concentración y Extracción de nutrimentos N-P-K por cedro y caoba en fase temprana de crecimiento en un suelo Acrisol de Tabasco.

parte	Peso seco (g árbol ⁻¹)		Concentración nutrimental (% PS)						Extracción nutrimental (g árbol ⁻¹)					
			N		P		K		N		P		K	
	Sm*	Co*	Sm	Co	Sm	Co	Sm	Co	Sm	Co	Sm	Co	Sm	Co
hoja	416	241	1.30	2.40	0.09	0.17	0.16	0.28	5.41	5.80	0.37	0.41	0.65	0.68
tallo	1123	1510	0.70	0.96	0.05	0.05	0.06	0.11	7.86	14.50	0.61	0.74	0.71	1.63
raíz	308	797	0.50	1.35	0.04	0.05	0.07	0.12	1.54	10.79	0.11	0.40	0.20	0.93
Total	1847	2548							14.81	31.09	1.09	1.55	1.56	3.24

*Sm = Caoba. *Co = Cedro

DISCUSIÓN

Propiedades fisicoquímicas del suelo

Los altos contenidos de MOS concuerdan con el manejo de la parcela en los últimos años, el cual corresponde a un acahual de 12 años. Dadas las características de los suelos ácidos de la región de estudio y de la dinámica misma del nutrimento en cuestión, se recomienda la aplicación de los elementos con niveles bajos. Es importante considerar que el fraccionamiento de nutrimentos y el uso de productos de liberación lenta hacen más eficiente el uso de los elementos nutritivos (Paulo *et al.* 2015). Para el suelo en estudio es preocupante la deficiencia de bases que se observa en el suelo, todas ellas muestran contenidos muy bajos, por lo que es recomendable suministrar estos nutrimentos poco después de plantadas las diferentes especies. El Ca y el Mg pueden aplicarse al inicio, vía cal dolomítica y, posteriormente realizar la aplicación de los nutrimentos mayores, con el propósito de incrementar el crecimiento de la Caoba y cedro (Ramos *et al.* 2016). Los microelementos que fueron deficientes pueden corregirse mediante fertilizantes foliares (Rodríguez *et al.* 2014).

Altura y diámetro en plantaciones de caoba

Al parecer la caoba, por ser una especie de lento crecimiento le basta con el suministro de fertilizante aplicado mediante la fórmula 17-34-30 (20 g) para satisfacer sus necesidades nutrimentales. A los 10 meses de edad, tuvo un crecimiento de 120 cm de altura, valor que es bajo en comparación, con lo reportado por Hernández *et al.* (2011), quienes reportan un promedio de 184 cm de altura, en contraste con el diámetro que fue de 1 cm de diámetro al año de la plantación, en asociación *Tectona grandis* L.f- *Swietenia macrophylla* King, con fertilización de 200 g de 17-17-17, y distancia de 2.5*2.5 m entre árboles y calles; valor que es bajo con respecto a lo encontrado en este estudio que a los 10 meses de edad fue de 3 cm de diámetro. Esto se debe a que el suelo de la parcela experimental tiene buen aporte de MO y N.

Crecimiento Acumulado

Para la altura y diámetro de tallo en el crecimiento acumulado, no hubo efectos significativos dentro los tratamientos, esto se debe a que el aporte nutrimental en este suelo es elevado, teniendo un nivel adecuado de fertilidad, y este se le puede atribuir principalmente a los altos contenidos de MO, ya que anteriormente era un acahual bien establecido.

Altura y diámetro en plantaciones de cedro

No se encontraron diferencias estadísticas en las variables altura y diámetro, de acuerdo con Hernández *et al.* (2011), en un estudio de asociación de las especies *Cedrela odorata* L y *Cordia alliodora* en altas densidades, encontraron diferencia significativa en altura al segundo año de plantación, con el tratamiento sin fertilización y procedencia local, siendo *Cedrela odorata* L. la que tuvo más respuesta. Para la altura, se tuvo crecimiento lento los primeros meses de desarrollo (noviembre-marzo), mientras que en los meses de abril-agosto se tuvo mayor incremento (Figura 4). Otro trabajo de investigación, en el valle de Yaqui, sonora, México, en árboles de cedro, al inicio de su desarrollo (noviembre-marzo) no reporta incremento en altura, pero en los meses de abril-octubre, se presenta incremento considerable en altura, aunado a un aumento de temperatura

(Villaseñor et al. 2012). Mientras que Hernández et al. (2011) reportan que *Cedrela odorata* L. en asociación con *Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken presentaron diferencias estadísticas en el segundo año de plantación, donde la primera especie tuvo mayor desarrollo en diámetro. El mismo comportamiento en altura, pero en menor tiempo, el diámetro en los primeros tres meses de desarrollo fue lento, ya en febrero se incrementa. Similar a este estudio, Villaseñor et al. (2012) reporta que en plantaciones de cedro con fertilización, el incremento del diámetro fue lento al inicio de su desarrollo. Al respecto, Carvajal et al. (2021) encontraron diámetro y altura (3.92 cm, 3.20 m) a los 12 meses edad en sistema agroforestal café, valores altos en comparación con los sistemas monocultivo.

Demanda nutrimental NPK de cedro y caoba

Para ambas especies se encontró que los nutrimentos NPK están en altas concentraciones en las hojas, comportamiento similar fue reportado en plantaciones de teca (Moya et al. 2013). Dado el papel fundamental que tienen los nutrimentos mayores en la fotosíntesis, se espera que las especies en estudio presenten un buen crecimiento y desarrollo; los valores mencionados además relacionan las buenas concentraciones del suelo y de los árboles (Goldstein y Santiago 2016). La relación biomasa radical (Br)-biomasa aérea (Ba)(Br/Ba), para la caoba fue de 0.20 y cedro de 0.40, esta última especie muestra mejor exploración radical, importante en suelos ácidos que suelen ser deficitarios de nutrimentos (Ramos et al. 2016, Salgado et al. 2017). La cantidad de nutrientes NPK que demanda una plantación de cedro y caoba presenta una relación de $N > K > P$, lo cual fue reportado por Alvarado (2015). Como se señaló con anterioridad *Cedrela odorata* L. demandó mayor cantidad de nutrimentos y presentó una mejor adaptación a los suelos Acrisol hiperdistri-férrico (ACdyhfr) representativos de la sabana de Huimanguillo, en comparación con *Swietenia macrophylla* King.

CONCLUSIONES

El mayor crecimiento en altura y diámetro en un suelo Acrisol hiperdistri-férrico (ACdyhfr) de la sabana de Huimanguillo lo tuvo *Cedrela odorata* L. En la variable altura, solamente se encontraron diferencias estadísticas significativas en contraste con la variable diámetro, para la especie *Cedrela odorata* L. La especie con mayor demanda nutrimental, peso seco (biomasa) y mejor exploración radical fue *Cedrela odorata* L. en comparación con *Swietenia macrophylla* King. El presente estudio sienta las bases para la generación de fórmulas de fertilización para *Swietenia macrophylla* King y *Cedrela odorata* L., cultivados en un suelo Acrisol hiperdistri-férrico (ACdyhfr) de la sabana de Huimanguillo.

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

LITERATURA CITADA

- Alvarado HA (2015) Plant nutrition in tropical forestry. Pancel L, Kohl M (eds) Tropical Forestry Handbook. Springer. Berlin, Heidelberg. 91p. https://doi.org/10.1007/978-3-642-41554-8_105-2.
- Aceves NLA, Rivera HB (2019) Clima. En: La biodiversidad en Tabasco. Estudio de Estado. Vol I. CONABIO. México. pp: 61-68.
- Carvajal DA, Murillo CR, González RM, Fonseca GW (2021) Evaluación del crecimiento de *Cedrela odorata* L. en sistemas de agrosilvicultura de café en Pérez Zeledón, Costa Rica. Tropical journal of environment Science 55(1): 230-249. <https://doi.org/10.15359/rca.55-1>.
- CONAFOR, Comisión Nacional Forestal (2005) Guía para la elaboración de la propuesta técnica forestal y ambiental. México. 86p.
- CONAFOR, Comisión Nacional Forestal (2006) Datos a los bosques. Número de incendios forestales, Gerencia de Incendios Forestales, México. http://148.223.105.188:2222/gif/sni/%5fportal/index.php?option=com_content&task=view&id=51&Itemid=65.
- CONAFOR, Comisión Nacional Forestal (2012) Programa de Desarrollo de Plantaciones Forestales Comerciales, a 15 Años de su Creación. A. Fierros G. M. CONAFOR. Zapopan, Jalisco, México. 152p.
- CONAFOR, Comisión Nacional Forestal (2020) El sector forestal mexicano en cifras 2019. Bosques para el bienestar social y climático. Zapopan, Jalisco, México. 100p. <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/1/7749El%20Sector%20Forestal%20Mexicano%20en%20Cifras%202019.pdf>
- Fonseca GW, Murillo CR, Ávila AC, Rojas VM, Spínola PM (2020) Modelos de biomasa y carbono para árboles de *Gmelina arborea* en plantaciones clonales. Tropical Journal of Environmental Science 55(1): 143-159. <https://doi.org/10.15359/rca.55-1.7>.
- García CX, Sáenz RJT, Muñoz FHJ, Hernández RA, Rueda SA, Hernández RJ (2022) Aportaciones científicas del Programa de Plantaciones Forestales en el INIFAP. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 13(70): 1-42.
- Goldstein G, Santiago LS (2016) Tropical tree physiology. Adaptation and responses in a changing Environment. Springer Internacional 467p. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-27422-5>.
- Hernández ME, López AJL, Sanchez MV (2011) Crecimiento en diámetro y altura de una plantación mixta de especies tropicales en Veracruz. Revista Mexicana Ciencias Forestales 2(7): 27-42.
- Holsten EK, Kobe RK (2016) Tree species and soil nutrients drive tropical reforestation more than associations with mycorrhizal fungi. Plant and Soil 410: 283-297. <https://doi.org/10.1007/s11104-016-3013-z>.
- Moreno G, Obrador JJ, Cubera E, Dupraz C (2005) Fine root distribution in Dehesas of Central-Western Spain. Springer, Plant and Soil 277: 153-162. <https://doi.org/10.1007/s11104-005-6805-05-0>.
- Moya FJ, Murillo R, Portuguez E, Fallas JL, Ríos V, Kottman F, Verjans JM, Mata R, Alvarado A (2013) Nutrient concentration age dynamics of teak (*Tectona grandis* L.f.) plantations in Central America. Forest System 22(1): 123-133. <http://dx.doi.org/10.5424/fs/2013221-03386>.
- Paulo HM, da Silva FP, Ariane AS, Ithamar PN, Rinaldo CP (2015) Mortalidade, crescimento e solução do solo em Eucalipto com aplicação de fertilizante de liberação lenta. CERNE 21(3): 473-481. <http://dx.doi.org/10.1590/01047760201521031860>.
- Ramos AC, Obrador OJJ, García LE, Pérez FJ, Carrillo AE (2016) Efecto del encalado en la materia orgánica del suelo en un Sistema agroforestal. Agroproductividad 9(12): 28-33.
- Rodríguez VA, Cabrera BSC, Martínez GC, Chabbal MD, Maza SM (2014) Fertilización foliar con zinc y manganeso en huertos de naranjo valencia late. Cultivos Tropicales 35(4): 100-105.
- Salgado GS, Palma LDJ, Castelán EM, Lagunes ELC, Ortiz LH (2013) Manual para muestreo de suelos, plantas y aguas e interpretación de análisis para la producción sostenible de alimentos. Colegio de Postgraduados. Cárdenas, Tabasco, México. 101p.
- Salgado GS, Palma LDJ, Zavala CJ, Cordova SS, Castelan EM, Lagunes ELC, Ortíz GCF, Rivera CC, Ventura UF, Marín AA, Moreno CE, Rincon RJA (2016) Programa de fertilización sustentable para plantaciones de cítricos en Tabasco, México. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 3(9): 345-356. <https://doi.org/10.19136/era.a3n9.96>.
- Salgado GS, Palma LDJ, Zavala CJ, Ortiz GCF, Lagunes ELC, Ortiz CAI, Cordova SS, Salgado VS (2017) Los suelos ácidos de la Sabana de Huimanguillo. Agroproductividad 10(2): 16-21.

- SEMARNAT (2002) NOM-021-RECNAT 2000 Norma oficial mexicana. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudio, muestreo y análisis. SEMARNAT. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 65p.
- Villaseñor LOA, Cabanillas BRE, Tamayo ELM, Fernández BJA, García QY, Álvarez OP, Bonilla VM (2012) Evaluación del crecimiento de *Cedrela odorata* L. en las condiciones del Valle del Yaqui, Sonora, México. Revista Latinoamericana de Recursos Naturales 8(1): 1-8.
- Zavala CJ, Salgado GS, Marín AA, Palma LDJ, Castelán EM, Ramos RR (2014) Transecto de suelos en terrazas con plantaciones de cítricos en Tabasco. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios. 1(2): 123-137.