

FENOLOGÍA Y PRODUCCIÓN DE FRUTOS DE PLANTACIONES DE SIRICOTE (*CORDIA DODECANDRA* A. DC.) BAJO TRES TIPOS DE MANEJO EN XMATKUIL, YUCATÁN, MÉXICO

PHENOLOGY AND FRUIT PRODUCTION OF SIRICOTE (*CORDIA DODECANDRA* A. DC.) PLANTATIONS UNDER THREE KINDS OF MANAGEMENT AT XMATKUIL, YUCATAN, MEXICO

Campos B. Simei M.*; Juan Jiménez-Osornio, y Roberto Barrientos M.*****

Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Universidad Autónoma de Yucatán, Km. 15.5 carretera Mérida-Xmatkuil, AP 4-116 col. Itzimná 97100 Mérida, Yucatán, México.

*Correo electrónico: *simaris17@hotmail.com; **josornio@correo.uady.mx;*

****rcarlos@correo.uady.mx*

RESUMEN

El estudio de la fenología de las especies permite entender y predecir épocas de floración y fructificación útiles en el manejo de árboles tropicales caducifolios. La presente investigación se realizó en tres plantaciones de *Cordia dodecandra* (P1, P2 y P3) establecidas en el año 2002 en Xmatkuil, Yucatán, que se han manejado de diferente manera: poda, riego y deshierbe (P1); deshierbe (P2) y sin manejo (P3). Los objetivos de este trabajo fueron evaluar la fenología, la producción y la calidad de los frutos de tres plantaciones. La fenología se determinó una vez al mes, utilizando el método de Fournier. La producción se evaluó cosechando y contabilizando la totalidad de frutos de todos los árboles de cada plantación, y la calidad del fruto se apreció mediante el peso y medidas del largo y ancho de una muestra (n = 20) de cada plantación. Además, se obtuvo el porcentaje de humedad de los mismos poniéndolos en una secadora a 60°C. Los resultados mostraron que P1 presentó ho-

jas en porcentajes del 100% en septiembre 2011, en octubre disminuyó y el porcentaje de hojas fue de 25% y posteriormente en el periodo de noviembre 2011-agosto 2012 nuevamente hubo 100% de hojas. P2 y P3, perdieron sus hojas durante el periodo de diciembre-marzo. Respecto a la floración, P1 presentó flores en porcentajes del 25% durante casi todo el año, a excepción de junio y julio, en los que no se registró la presencia de ninguna estructura floral; el pico máximo se observó en marzo. Las otras dos plantaciones sólo tuvieron floración durante la época de sequía (diciembre-mayo). En el mes de febrero, P2 presentó un pico máximo y P3 en marzo. La presencia de frutos en P1 se observó en octubre, noviembre y enero, incrementándose hasta obtener un pico máximo en mayo. En P2 la fructificación se observó de enero-junio y presentó un pico máximo en marzo, y en P3, de febrero-mayo con pico máximo en mayo. La mayor producción y calidad de frutos se registró en P1 presentando diferencias significativas.

Palabras clave: manejo, fenológico, caducifolio.

ABSTRACT

Phenology of a species allows us to understand and predict flowering and fructification times useful in the management of deciduous tropical trees. This study was performed in three plantations (P1, P2 and P3) of *Cordia dodecandra* with different kind of management (P1, pruning, irrigation, weeding; P2, weeding; P3, without management), established in 2002 at Xmatkuil, Yucatan. The evaluation covered the period of September (2011)-August (2012). The phenology was determined once a month using Fournier method. Production was assessed by harvesting and counting all fruit of all trees from each orchard and fruit quality was weighed and measured the length and width of a sample (n = 20) and obtained the moisture content of the same putting them in a dryer at 60°C. Results showed that P1 presented 100% leaves in September 2011, and during the period November 2011-August 2012. The percentage of leaves decreased to 25% only in the month of October 2011. P2 y P3 lost all their leaves during the period December-March. Regarding flowering, P1 presented flowers in percentage of 25% most of the year except for the months of June and July when the presence of any floral structure was recorded. The peak was observed in March. The other two plantations, P2 and P3, bloomed during the dry season (December to May). P2 presented a peak in February and P3 in March. Fructification in P1 showed in the months of October, November and January but the maximum production was in May, P2 in the months of January to June, showing a peak in March and P3

from February to May with a maximum in the month of May. The highest production and fruit quality was recorded in P1.

Key words: management, phenology, deciduous.

INTRODUCCIÓN

La fenología estudia la relación entre las condiciones ambientales y los fenómenos o acontecimientos periódicos o fenofases de las plantas, como la foliación, floración y fructificación (Castillo, 2001). Mediante el estudio de las fenofases se pueden conocer y elaborar modelos que ayuden a predecir las épocas de siembra, riego, floración, fructificación y cosecha (Heuveldop *et al.*, 1986; Coletto, 1994). En particular, la fenología contribuye a comprender la biología de la reproducción de las especies y constituye un aporte de información para el manejo y conservación de los recursos naturales, principalmente en lo que se refiere al manejo de especies cuyos frutos se aprovechan (Mostacedo y Fredericksen, 2000).

Fournier (1974) y Reich y Borchert (1982) han estudiado y descrito los patrones de los eventos biológicos de algunas especies en las regiones tropicales, y han tratado de explicarlos correlacionándolos con diversos factores ambientales. En los bosques tropicales caducifolios que presentan una estación de sequía, la precipitación y la humedad son factores considerados como determinantes de los procesos fenológicos (Bullock y Solís-Magallanes, 1990; Borchert, 1994 y Bullock, 2002). Durante esa temporada, los árboles tienden a perder las hojas, para dar paso a la producción de flores y frutos, pudiéndose observar una marcada sincronía (Borchert, 1996).

Por otra parte, las prácticas de manejo a las que se sometan las especies también son factores que pueden modificar su fenología (Calderón, 1989). En las especies que cuentan con riego, el proceso de floración no es tan marcado porque el agua retrasa la caída de las hojas, limitando la floración (Valdéz *et al.*, 2009). Asimismo, la disponibilidad del agua permite un mayor ciclaje de nutrientes, lo que favorece a los árboles. Por ello, es de esperarse que los individuos que se desarrollan en ambientes ricos en recursos y que reciben un manejo, la producción sea diferente a la de los árboles que se desarrollan de manera silvestre. Por ejemplo, Parra-Tabla y Bullock (1998) demostraron que el número de inflorescencias, flores y frutos se incrementa cuando existe una mayor disponibilidad de fósforo (P).

El entendimiento de la fenología de una especie arbórea que produce frutos de interés comercial es muy útil para su manejo y mejoramiento. Por tanto, es importante conocer las respuestas fenológicas del árbol *Cordia dodecandra* bajo diferentes tipos de manejo.

Por su madera, *C. dodecandra* ha sido muy explotado (Forster, 2002), y en la actualidad resulta difícil encontrarlo en ambientes naturales. Sin embargo, en diversos lugares del estado de Yucatán se cultiva con fines comestibles y de ornato. En las comunidades rurales forma parte importante de la estructura de los huertos familiares, y en las ciudades crece en parques, jardines así como en áreas verdes (Jiménez *et al.*, 1999).

Dada la importancia ecológica y económica de *C. dodecandra* y dado que los conocimientos sobre la especie son escasos, se decidió llevar a cabo este estudio con el objetivo fundamental de determinar los pa-

trones fenológicos y evaluar la producción y calidad de sus frutos, bajo tres tipos de manejo en Xmatkuil, Yucatán.

MATERIAL Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se realizó en dos sitios ubicados en la localidad de Xmatkuil al sur de la ciudad de Mérida, en la reserva ecológica de Cuxtal, Mérida, Yucatán. La primera localidad, que incluye dos plantaciones, es el Rancho Los Juanes (fig. 1), ubicado en el Km. 1.6 de la carretera Xmatkuil-Dzununcan 20° 51' y 38° 89' latitud norte, y 89° 38' longitud oeste; delimita al norte con la carretera Xmatkuil-Dzununcan y con terrenos particulares en los demás puntos colindantes. La segunda localidad se ubica en el Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Yucatán localizado en el Km. 15.5 carretera Mérida-Xmatkuil 21° 06' de latitud norte y 89° 27' longitud oeste.

El tipo de suelo en la región es cambisol (rojo, o kankab), poco pedregoso, que retiene con mayor facilidad el agua y leptosol (tsekel), poco profundo, con afloramientos de rocas y piedras que dificultan la retención del agua (Estrada, 2000).

El clima es tipo Awo'(w) (i') g cálido subhúmedo, con una temperatura media anual de 26°C y precipitación pluvial de 984.4 mm al año, distribuida de junio a noviembre (Orellana *et al.*, 2003). Predomina la vegetación secundaria proveniente de plantaciones de henequén abandonadas hace varias décadas. De acuerdo con Durán y Olmsted (1999), la vegetación potencial es de selva baja caducifolia.

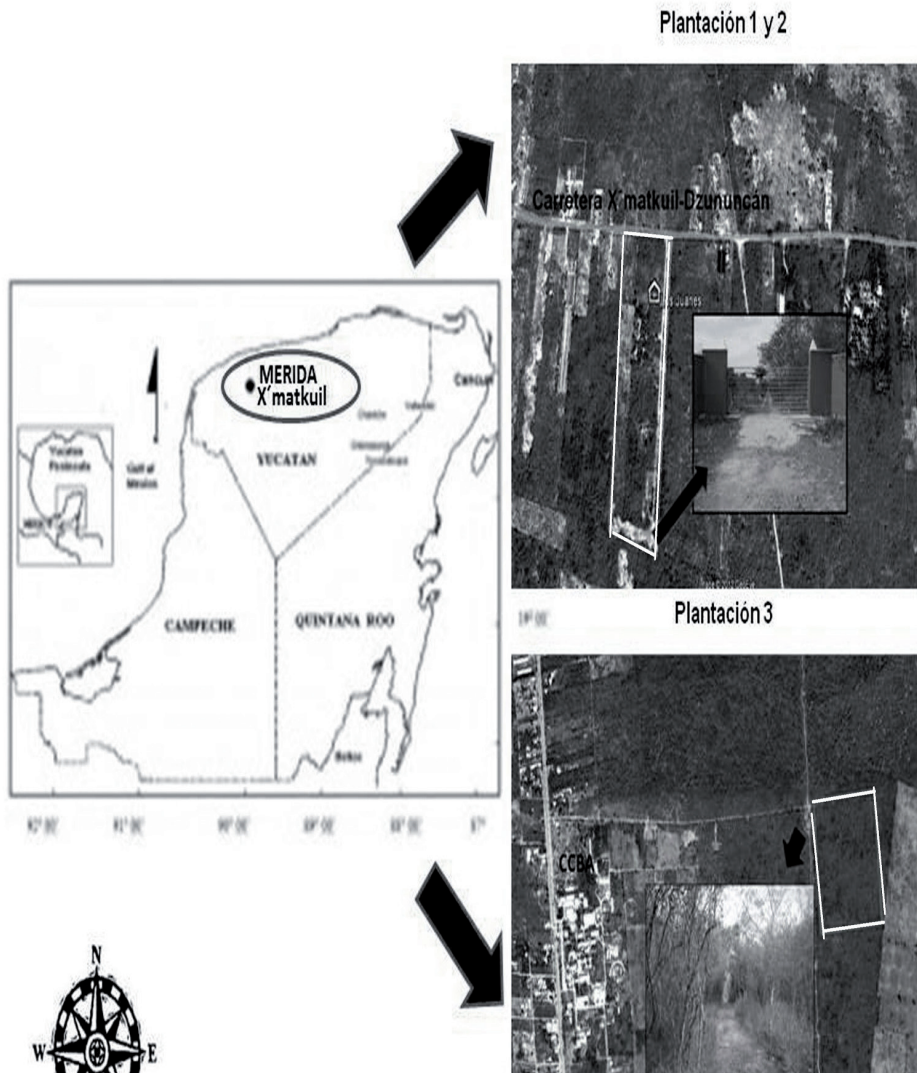


Fig. 1. Ubicación del área de estudio. Plantaciones 1 y 2, rancho Los Juanes; plantación 3, Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, UADY .

Historia de las plantaciones

Se estudiaron tres plantaciones (P1, P2 y P3) establecidas en el año de 2002, en parcelas localizadas en Xmatkuil, Yucatán, dos de ellas están en el rancho Los Juanes y la otra en el Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Yucatán. Las parcelas incluyen los dos tipos de suelo característicos de la región: leptosol y cambisol. Para el establecimiento de las parcelas hubo riego únicamente en la época de secas (noviembre-mayo) en las tres plantaciones. A partir del 2004 se asignó al azar diferente intensidad de manejo a cada una de las plantaciones. En el rancho Los Juanes se establecieron dos: una de ellas (P1) se maneja bajo el sistema silvopastoril que está compuesto de árboles de *C. dodecandra* y de *Cynodon plectostachyus* (pasto estrella). Los individuos de *C. dodecandra* han recibido podas, la plantación tiene riego continuo y deshierbe y cuando es pastoreada las excretas de ovinos se incorporan al suelo. Cuenta con 107 árboles dispuestos en hileras a lo largo y ancho de los potreros.

La otra parcela del rancho Los Juanes (P2) no tiene riego, se deshierba dos veces al año (inicio de la temporada de lluvias e inicio de la temporada de sequía). Está conformada principalmente por gramíneas y algunas cactáceas, cuenta con 57 individuos dispuestos en círculos a lo largo y ancho del área.

La tercera plantación (P3) no tiene ningún tipo de manejo desde el 2004. Se encuentra en el terreno ubicado en el Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CCBA). En esta plantación hay 94 árboles y para tener acceso a ellos se realizaron deshierbes.

Registro de la fenología

Se consideraron todos los individuos de las tres plantaciones (censo) utilizando el método de Fournier (1974), en el cual, la información fenológica exigía tener carácter cuantitativo y cubrir todo el periodo de manifestación, del inicio, a la plenitud hasta el declive. Con la ayuda de binoculares se observó el estado fenológico y se tomaron los datos de la foliación (hojas jóvenes, maduras y seniles), floración (botones florales y flores maduras) y fructificación (frutos iniciados y cosechados). Los frutos se definieron en cosecha con base en el color verde-amarillento que adquieren al sazonar. Posteriormente, se evaluó el porcentaje de presencia de frutos en cada individuo de la población mediante una escala del 0 al 4 (0 = ausencia de la característica, 1 = 1-25%; 2 = 26-50%; 3 = 51-75% y 4 = 76-100%). Estos porcentajes se calculan con base en la proporción de las ramas de cada árbol; primero dividiendo el árbol en cuatro partes y posteriormente se le asigna el valor correspondiente. Esta valoración se realizó una vez al mes, de septiembre de 2011 a septiembre de 2012.

Evaluación de la producción y calidad del fruto

Cuando cada árbol presentó el 75% de los frutos de color verde-amarillento se procedió a cosecharlos de todos los árboles de las tres plantaciones, se contabilizaron y se pesaron en una balanza digital. Posteriormente, para evaluar la calidad del fruto, se tomó al azar una muestra de 20 unidades de la producción total de cada árbol que presentara más de 20 frutos. Se pesaron en fresco, se midieron con un vernier a lo largo y ancho y se dejaron secar durante tres días en un horno a 60°C.

Transcurrido ese tiempo, se pesaron nuevamente y se determinó el porcentaje de humedad mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ humedad} = [(\text{peso de muestra húmeda} - \text{peso de muestra seca}) \times 100] / \text{peso de muestra húmeda}$$

Para definir si los frutos en cosecha tienen la calidad adecuada para su comercialización en la región, se procedió a comparar los datos de tamaño y peso obtenidos en el estudio con los establecidos por el Grupo AAMSA (Grupo Agroindustrial y Alcohólico de México, S.A. de C.V.), empresa dedicada a la fabricación y comercio de licores, mezclas en frío, y frutos en conserva o en almíbar, entre otros el siricote.

Análisis de datos

Con los datos mensuales de cada fase fenológica (foliación, floración y fructificación) se realizó un análisis de varianza de medidas repetidas de efectos mixtos (mediante un modelo lineal generalizado), en el que se consideraron como efectos fijos la plantación (manejo) y el mes, mientras que los árboles (unidades muestrales) constituyeron el factor de efectos aleatorio. El interés de la inferencia se centró en estimar la varianza de las características fenológicas analizadas, lo que implica considerar que los árboles representan una distribución de probabilidad y no niveles escogidos de manera deliberada durante la investigación (Littell *et al.*, 2002).

En este caso, se consideró una estructura de varianza-covarianza de tipo autoregresiva que resultó ser la más parsimoniosa de acuerdo con el Criterio Bayesiano de Información (BIC). La significancia del modelo y de los efectos fijos se estableció,

como es usual, en los diseños relacionados con el análisis de varianza; por medio del estadístico F, y las diferencias significativas entre parcelas y meses se determinaron empleando el criterio de corrección de Bonferroni. Todos los análisis relacionados con el diseño de medidas repetidas se realizaron utilizando el paquete NLME (Pinheiro *et al.*, 2013) implementado en el ambiente R (R Core Team, 2013) versión 3.0.0.

Para determinar la presencia de diferencias significativas en el peso de los frutos se aplicó la prueba de Kruskal-Wallis, seguida de la prueba de Dunn. Finalmente, para el tamaño de los frutos, se realizó un ANOVA simple con la prueba de Tukey como criterio de comparación múltiple para determinar la existencia de diferencias significativas entre las tres plantaciones. Estos análisis se realizaron con el programa STATGRAPHICS versión 5.1. Las figuras se elaboraron con el programa SigmaPlot versión 11.0. En todos los casos de pruebas de hipótesis estadísticas se consideró un nivel de significancia del 5%.

RESULTADOS

Análisis de la fenología

Foliación. Se presentaron diferencias significativas en la interacción plantación-mes ($F = 154.88$, $P < 0.0001$ con 12837 g.l.), así como entre plantaciones ($F = 105.53$, $P < 0.0001$ con 112837 g.l.) y entre meses ($F = 109.88$, $P < 0.0001$ con 112837 g.l.).

La tendencia de los valores promedio indica que en P1 se mantiene la presencia de hojas durante casi todo el año (100%) a excepción del mes de octubre, en el que disminuye a sólo el 25% (fig. 2). En P2 se

observaron dos periodos con mayor cantidad de hojas (75%), el primero de septiembre a noviembre y el último de junio a agosto; la menor foliación (25%) se observó en febrero y marzo. En P3, también se presentaron dos periodos con mayor cantidad de hojas (100%), el mínimo (25%) se observó en marzo. Los meses de menor porcentaje de hojas, tanto para P2 como para P3, coinciden con la época de secas.

Floración. En las tres plantaciones la floración fue baja, con valores promedio del 25%; no se observaron diferencias significativas en la interacción plantación-mes ($F = 1.42$, $P = 0.1552$ con 1 2837 g.l.), pero sí

entre plantaciones ($F = 10.32$, $P = 0.0013$ con 1 2837 g.l.) y principalmente entre meses ($F = 30.39$, $P < 0.0001$ con 1 2837 g.l.). En los árboles de P1, exceptuando los meses de junio y julio, durante los que no se registró la presencia de ninguna estructura floral, la floración fue del 25% el resto del año, con pico máximo en marzo (fig. 3). En P2 se observaron flores durante seis meses (diciembre-mayo), con un pico máximo en febrero. En P3 se registraron flores de febrero a abril, con pico máximo en marzo.

Fructificación total. En las tres plantaciones el valor promedio de fructificación fue alrededor del 25%, presentándose diferen-

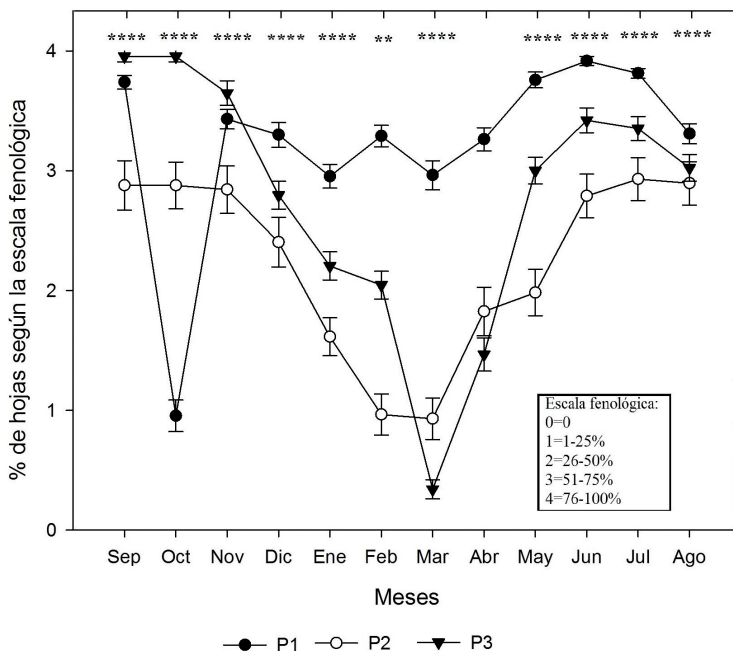


Fig. 2. Valores promedio de foliación (\pm error estándar) de *Cordia dodecandra* de las tres plantaciones con diferente tipo de manejo en Xmatkuil, Yucatán. Poda, riego y deshierbe (P1), deshierbe (P2), sin manejo (P3). * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.005$, **** $p < 0.001$.

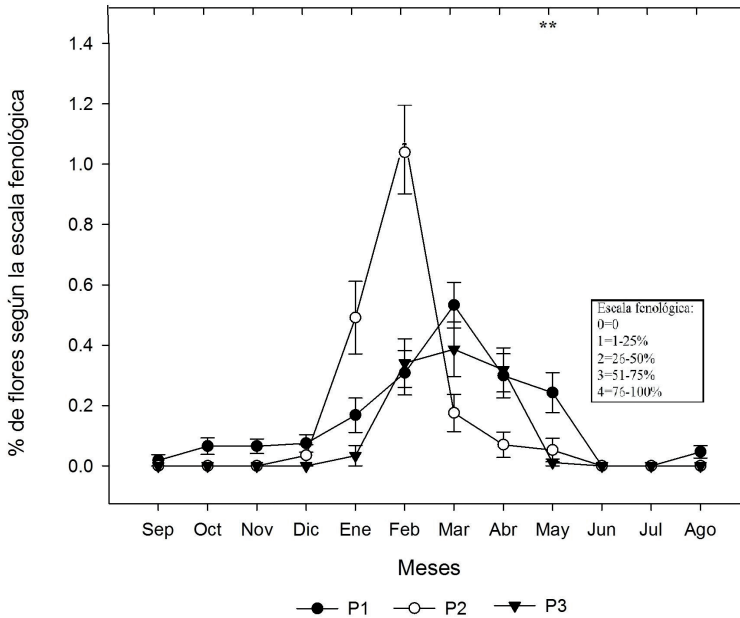


Fig. 3. Valores promedio de floración (\pm error estándar) de *Cordia dodecandra* de las tres plantaciones con diferente tipo de manejo en Xmatkuil, Yucatán. Poda, riego y deshierbe (P1), deshierbe (P2), sin manejo (P3). * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.005$, **** $p < 0.001$.

cias debidas a la interacción plantación-mes ($F = 2.83$, $P = 0.0011$ con 1 2837 g.l.), a la plantación ($F = 26.14$, $P < 0.0001$ con 1 2837 g.l.) y a los meses ($F = 44.28$, $P < 0.0001$ con 1 2837 g.l.).

En P1, los primeros frutos aparecieron en octubre y noviembre; no se observaron frutos en diciembre; en enero aparecen nuevamente y la producción se incrementa hasta alcanzar un pico máximo en mayo; pasado ese mes, la fructificación declina (fig. 4). En P2, los primeros frutos aparecieron en enero y fueron aumentando hasta marzo, mes de mayor fructificación. En P3 se registraron frutos a partir de febrero, observándose el pico máximo en mayo.

Para los frutos tiernos o iniciados se presentaron diferencias significativas en la interacción plantación-mes ($F = 3.18$, $P = 0.0003$ con 1 2837 g.l.), así como entre plantaciones ($F = 18.10$, $P < 0.0001$ con 11 2837 g.l.) y entre meses ($F = 32.36$, $P < 0.0001$ con 11 2837 g.l.). En P1 se observa que la fructificación se adelanta y se registran frutos tiernos desde octubre (fig. 5a). En P2 y P3, los frutos aparecieron meses después, en enero y en marzo, respectivamente.

En los frutos en cosecha no se presentaron diferencias significativas en la interacción plantación-mes ($F = 1.19$, $P = 0.2914$ con 1 2837 g.l.) ni entre plantaciones ($F = 3.42$, $P = 0.0644$ con 11 2837 g.l.), sólo entre meses

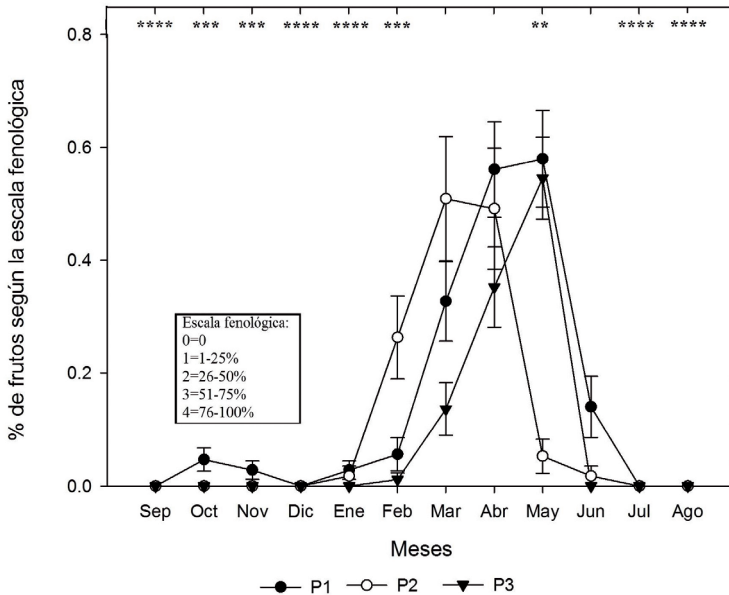


Fig. 4. Valores promedio de la fructificación (\pm error estándar) de *Cordia dodecandra* de las tres plantaciones con diferente tipo de manejo en Xmatkuil, Yucatán. Poda, riego y deshierbe (P1), deshierbe (P2), sin manejo (P3). * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.005$, **** $p < 0.001$.

($F = 19.03$, $P < 0.0001$ con 11 2837 g.l.). La cosecha fue de tres meses: abril-junio. Las tres plantaciones iniciaron en el mes de abril, sin embargo en P2 y P3 la cosecha terminó antes que en P1, donde duró un mes más (fig. 5b).

Producción y calidad del fruto

Producción. El periodo de cosecha fue de abril a junio. Durante ese lapso se observó que únicamente fructificaron 88 árboles de *C. dodecandra* de los 252 que se encuentran en las tres plantaciones. Como se esperaba, P1 fue la plantación que presentó más árboles con fruto; por lo tanto, registró la mayor producción. Del total de árboles que fructificaron nueve presentaron una

producción de menos de 20 frutos, que no se incluyeron en la evaluación de la calidad (cuadro 1).

El mayor número de frutos por parcela se registró en P1, seguida por P3; sin embargo, por árbol, el número mayor de frutos se obtuvo de los individuos de P2 que fue mayor que el de P3 (cuadro 2). El mayor promedio de peso de la producción por árbol se registró en P1, seguida de P3 (fig. 6). La prueba de Kruskal-Wallis indicó diferencias estadísticamente significativas ($H = 11.4874$ y $P = 0.003$). La plantación con peso medio diferente fue P1.

Calidad del fruto. El mayor promedio tanto del largo como del ancho en los frutos

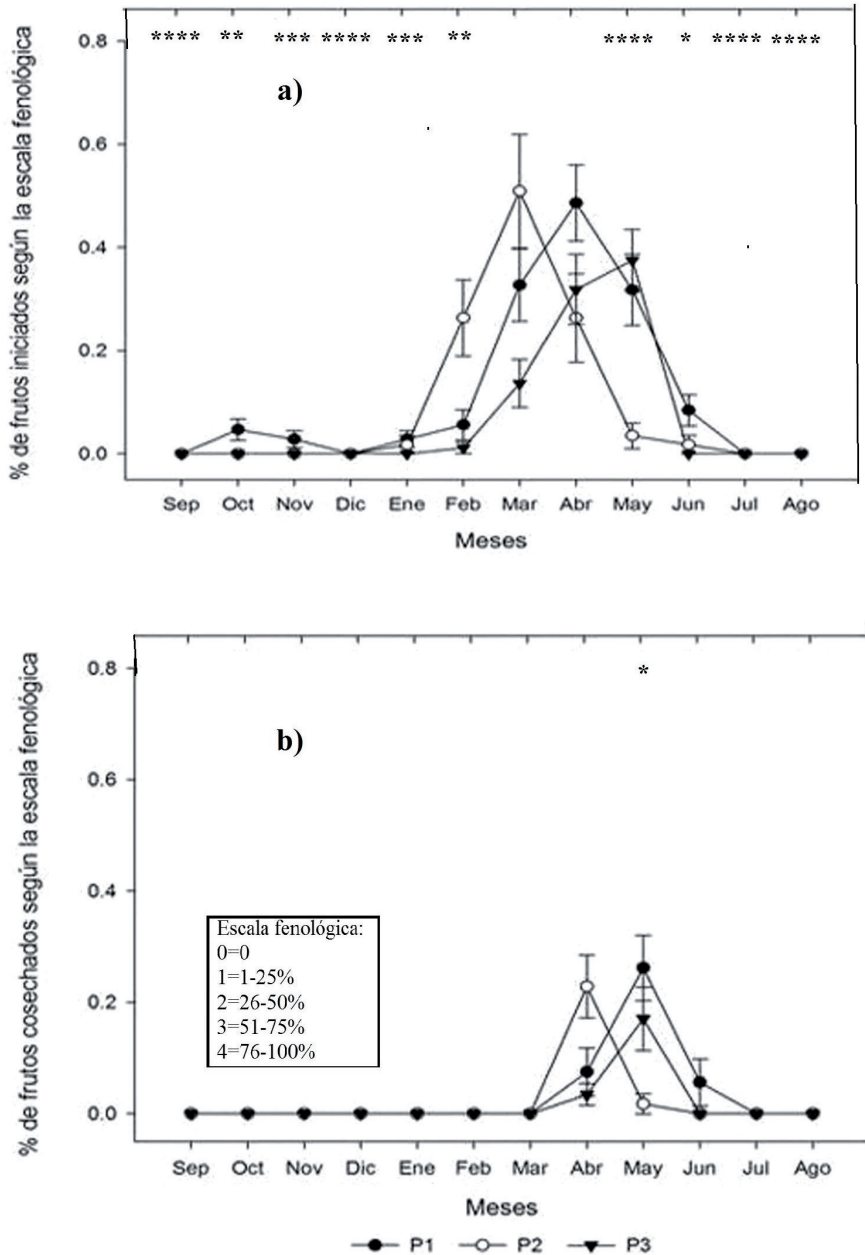


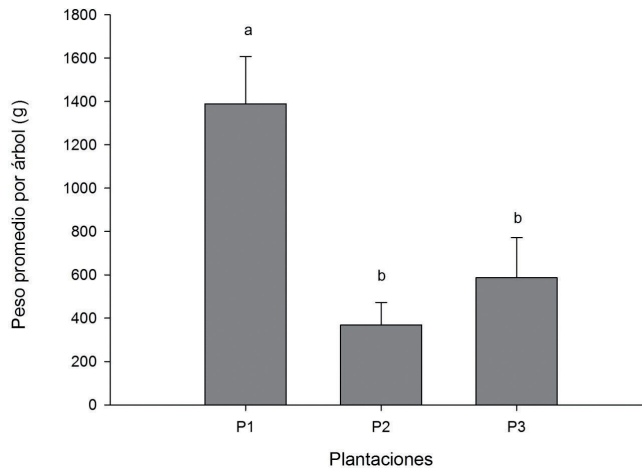
Fig. 5. Valores (promedio \pm error estándar) de: a) frutos iniciados; b) frutos cosechados de *Cordia dodecandra* de las tres plantaciones con diferente tipo de manejo en Xmatkuil, Yuc. Poda, riego y deshierbe (P1), deshierbe (P2), sin manejo (P3). * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$.

Cuadro 1. Número de árboles que fructificaron y porcentaje que representan en cada plantación.

	Total de árboles	Número de árboles que fructificó	Porcentaje de árboles que fructificó en cada plantación	Número de árboles con -20 frutos
P1	107	47	44	4
P2	57	19	33	2
P3	88	22	25	3
Total	252	88	-----	9

Cuadro 2. Valores promedio (\pm error estándar) de frutos por plantación y por árbol de *Cordia dodecandra*.

Plantaciones	Núm. de árboles	Núm. de frutos	Frutos por árbol
P1	107	8 199	77 \pm 1.38
P2	57	2 153	38 \pm 1.78
P3	88	3 079	35 \pm 1.60

**Fig. 6.** Valores promedio (\pm error estándar) del peso de los frutos por árbol de *Cordia dodecandra* de las tres plantaciones con diferente tipo de manejo en Xmatkuil, Yuc. Poda, riego y deshierbe (P1), deshierbe (P2), sin manejo (P3). Valores con letras distintas indican diferencias significativas según la prueba de Dunn ($P < 0.05$).

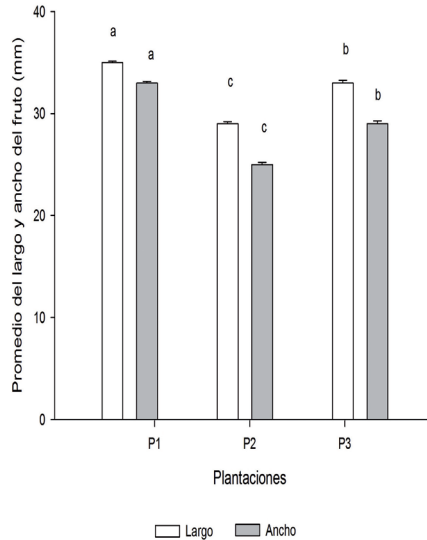


Fig. 7. Valores promedio (\pm error estándar) del largo y ancho de los frutos de *Cordia dodecandra* de las tres plantaciones con diferente tipo de manejo en Xmatkuil, Yucatán. Poda, riego y deshierbe (P1), deshierbe (P2), sin manejo (P3). Valores con letras distintas indican diferencias significativas según prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0.05$).

se da en los de P1, en comparación con los de P2 y P3 (fig. 7). El análisis de varianza indicó diferencias estadísticamente significativas en el largo ($F = 207.13$, $gl = 2$ y $P < 0.001$) y ancho de los frutos de las tres plantaciones (318.23 , $gl = 2$ y $P < 0.001$), con un nivel de confianza de 95.0% .

En el peso fresco de los 20 frutos muestreados se detectaron diferencias significativas en las tres plantaciones ($H = 44.80$ y $P = 0.001$), con los mayores valores promedio para P1 (fig. 9). En el caso del peso seco, P2 difiere de las otras dos plantaciones ($H = 21.14$ y $P = 0.001$) (fig. 8).

De acuerdo con la fórmula para obtener el porcentaje de humedad, la plantación que

presentó una mayor cantidad de agua en los frutos fue P1 (80%), seguida por P3 (72%) y finalmente P2 (69%).

DISCUSIÓN

Los datos obtenidos en este estudio muestran que la forma como se maneja las plantaciones influye en la fenología de *C. dodecandra*. El siricote es una especie caducifolia a pesar de tener riego constante; sin embargo, como respuesta a la disponibilidad de agua, los árboles de P1 mantuvieron sus hojas durante casi todo el año, a excepción de octubre, mes en el que el porcentaje de hojas disminuyó al 25%. Resultados similares se han observado en cinco especies caducifolias (*Acacia gaumeri*, *Apoplanesia paniculata*, *Bursera*

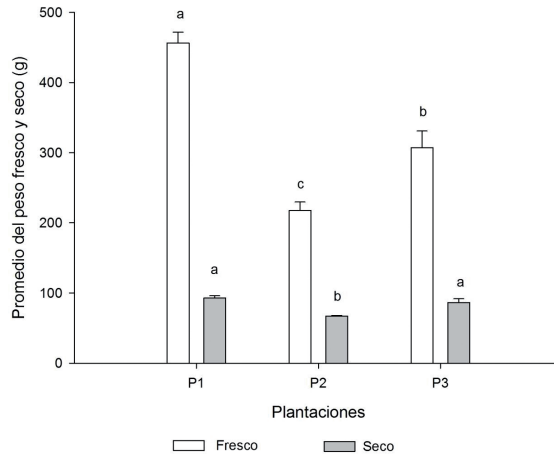


Fig. 8. Valores promedio (\pm error estándar) del peso fresco y seco de los frutos de *Cordia dodecandra* de las tres plantaciones con diferente tipo de manejo en Xmatkuil, Yucatán. Poda, riego y deshierbe (P1), deshierbe (P2), sin manejo (P3). Valores con letras distintas indican diferencias significativas según Dunn ($P < 0.05$).

simaruba, *Gymnopodium floribundum* y *Diospyros cuneata*) en dos sitios, tanto cerca como lejos de un cenote, donde dichas especies mostraron diferencias en la fenología: se registró una mayor cantidad de hojas en los árboles cercanos a los cuerpos de agua (Valdez *et al.*, 2009).

En especies de árboles tropicales se ha comprobado que la precipitación y la humedad son los factores determinantes de los procesos fenológicos (Bullock y Solís-Magallanes, 1990; Borchert, 1994 y Bullock, 2002). En P2 y P3, donde no existió riego y la fenología de los árboles únicamente dependió de la precipitación y la humedad de las lluvias estacionales, los árboles perdieron su follaje en gran parte de la época seca en respuesta al estrés hídrico (enero-marzo), coincidiendo con la fenología de especies de selva

seca de Chamela, Jalisco (Bullock, 2002), como *Astronium graveolens*, *Enterolobium* sp., *Godmania aesculifolia*, *Guazuma* sp., *Lonchocarpus* sp., *Lysiloma divaricatum*, *Tabebuia ochraceae*, entre otras, las cuales eliminan el follaje en la temporada de secas (Borchert, 1994a; Borchert, 1994b).

También se considera que el aporte de agua en P1 es el factor que puede estar provocando que la floración se adelante y se prolongue. El agua puede retrasar o adelantar las fenofases reproductivas (Bullock, 2002). En P1 se observó floración durante casi todo el año exceptuando los meses de junio y julio en los que no se registró ninguna estructura floral, en contraste con los árboles de P2 y P3 que únicamente presentaron flores durante los meses secos (diciembre-mayo).

No obstante, en la época de sequía, el agua parece no provocar ningún efecto en la producción de flores. En esa época la floración se intensificó en las tres plantaciones y en las tres se observó el mismo patrón de floración y los mismos porcentajes (25%). A pesar de que en P2 la producción de flores fue mayor en los meses secos, la diferencia no fue significativa.

Se ha observado que en árboles tropicales la floración se da en plena época de sequía (Bullock, 2002). Resultados similares a los que aquí se presentan fueron obtenidos, por Tissue y Wright, (1995) con tres especies de *Psychotria*. Estos autores demostraron que el riego que se aplicó durante la época de secas a las especies en estudio adelantó el tiempo de floración pero no afectó la producción de flores.

Por otra parte, se considera que la disponibilidad de nutrientes provenientes de las excretas de los animales (borregos) podría ser la causa que explique la producción de flores en P1 durante casi todo el año. Parra-Tabla y Bullock (1998) observaron que ciertos nutrientes (fósforo) depositados en el suelo incrementan la aparición de flores y frutos en los árboles de *Ipomea wolcottiana*. Sin embargo, en cuanto a *C. dodecandra*, para determinar cómo influye la disponibilidad de nutrientes en la floración y fructificación se requiere de estudios adicionales.

Es importante mencionar que a pesar de que en P1 la floración duró casi todo el año, no se observó igual producción de frutos, lo que puede deberse a la falta de polinizadores, como mencionan Ramírez y Armesto (1994), o bien, a la variación de las características florales y su sistema reproductivo. Según Canché (2010), *C.*

dodecandra muestra reacciones de auto e intramorfo compatibilidad, lo que permite el crecimiento de tubos polínicos propios (autopolinización) y del cruce tanto de diferentes individuos del mismo morfo como de diferente morfo, es decir, los gametos no se fecundan cuando pertenecen al mismo individuo o morfo floral. La fertilización sólo tiene lugar cuando participan gametos de ambos morfos florales. Canche-Colli y Canto (2014) realizaron pruebas de incompatibilidad en *C. dodecandra* las cuales muestran que los individuos cuyas flores recibieron polen propio o de otro individuo de su mismo morfo floral no produjeron frutos y por el contrario, produjeron frutos si recibieron polen de individuos del otro morfo.

No todos los frutos tiernos que se registraron en las plantaciones se cosecharon maduros debido a que algunos caen antes de estar listos para cosecharse. Los frutos listos para cosechar se presentaron primero en P2 y P3; la falta de agua podría ser la causa que explique la sincronía en la maduración de los frutos, lo que coincide con Borchert (1996), quien analizó mediante el uso de colecciones de herbario las diferencias fenológicas de 18 especies tropicales y encontró que las diferencias en la duración y la intensidad de la época seca afectan la sincronía de la floración y, por ende, la de la fructificación.

Los resultados de este estudio sugieren que la fenología de *C. dodecandra* está relacionada con el manejo que recibe, principalmente con el riego. La disponibilidad de agua permite la disolución y el ciclaje de los nutrientes, lo que explica las diferencias observadas entre los árboles de las tres plantaciones.

Evaluación de la producción y calidad del fruto

El número de árboles que fructificaron y el número de frutos que se obtuvo de cada árbol en cada plantación sugieren que el manejo influye en la producción de frutos. En P1, la plantación que recibió mayor manejo, la producción fue mayor. Se considera que el agua y la disponibilidad de los nutrientes provenientes de las excretas de los borregos fueron los principales responsables de dicha producción. Una conclusión similar anotan Salinas-Peba y Parra-Tabla (2007) respecto al mayor número de frutos y con mayor peso en los árboles de solar, comparados con los de la selva, coincidiendo con la mayor disponibilidad de agua y de nutrientes que existe en los solares. También Valdez *et al.* (2009) observaron mayor cantidad de frutos en los árboles que se encontraron cerca de los cenotes.

Asimismo, es concluyente que tanto la producción abundante como la buena calidad de los frutos en P1 se debe a las podas y el deshierbe constante que se realiza en la plantación; tales prácticas favorecen y vigorizan los árboles (Vázquez *et al.*, 2009). Finalmente, se infiere que el riego que recibe la plantación es también lo que mantiene el porcentaje de humedad en los frutos de P1. Estos datos sugieren que para tener una plantación con buena producción es necesario que el terreno este limpio, libre de otras plantas que puedan competir por el agua (Tamaro, 1979).

El promedio de diámetro de los frutos de P1 es de 33 mm, lo que coincide con lo que registran Pennington y Sarukhán (1968). Esta medida está dentro del intervalo esta-

blecido y según los estándares requeridos por la empresa que se dedica a la compra y procesamiento de frutos AAMSA (Grupo Agroindustrial y Alcohólico de México, S.A. de C.V.).

CONCLUSIÓN

El comportamiento fenológico de los árboles de *C. dodecandra* depende en gran medida del manejo al que se sometan y en particular a la disponibilidad de agua. El agua y los nutrientes se consideran los principales factores que intervienen en la caída de las hojas, floración y fructificación, así mismo son los responsables de la producción y la calidad de los frutos.

LITERATURA CITADA

- Borchert, R., 1994a. "Soil and stem water storage determine phenology and distribution of tropical dry forest trees". *Ecology*, **75**(5): 1437-1449.
- _____, 1994b. "Induction of rehydration and bud break by irrigation or rain in deciduous trees of a tropical dry forest in Costa Rica". *Trees*, **8**: 198-204.
- _____, 1996. "Phenology and flowering periodicity of Neotropical dry forest species: Evidence from herbarium collections". *Journal of Tropical Ecology*, **12**: 65-80.
- Bullock, S., 2002. "La fenología de plantas en Chamela". Noguera, F., J. Vega, A. García, y M. Quesada, 2002. *Historia natural de Chamela*. Instituto de Biología, UNAM, México, DF, pp. 491-494.

- Bullock, S., y H. Solís-Magallanes, 1990. "Phenology of canopy trees of a tropical deciduous forest in Mexico". *Biotropica*, **22**: 22-35.
- Calderón, E.A., 1989. *Fruticultura tropical. El esfuerzo del hombre*. 3a. ed. Limusa, México, DF, pp. 211-221.
- Canché, C.C., 2010. "Biología reproductiva de *Cordia dodecandra* D.C. (Boraginaceae): variación de características florales y sistema reproductivo". Tesis. Instituto Tecnológico de Conkal, Yucatán, pp. 69-70.
- Canché-Colli, C., y A. Canto, 2014. "Distylous traits in *Cordia dodecandra* and *Cordia sebestana* (Boraginaceae) from Yucatan Peninsula". *Botanical Science*, **92**(2): 289-297.
- Castillo, E., y F. Castellví, 2001. *Agrometeorología*. 2a. ed. Mundi-Prensa. México, DF pp. 317-327.
- Coletto, J.M., 1994. *CreCIMIENTO y desarrollo de las especies frutales*. 2a. ed. Mundi-Prensa. México, DF, pp. 48-52.
- Core, T.R., 2013. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Wien. <http://www.R-project.org/>
- Duch, G., 1988. *La conformación territorial del Estado de Yucatán. Componentes del medio físico*. Centro Regional de la Península de Yucatán, UACH, Mérida, pp. 295-395.
- Durán, R., e I. Olmsted, 1999. "Vegetación de la Península de Yucatán". A. García, J. Córdova y Ordóñez, P. Chico (eds.). *Atlas de Procesos Territoriales de Yucatán*. Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, pp. 187-191.
- Estrada, M.H., 2000. "Caracterización y cartografía del recurso suelo del municipio de Hocabá, Yucatán". Tesis de maestría en manejo y conservación de recursos naturales tropicales, Facultad de Veterinaria, Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida.
- Forster, R.; H. Albrecht, M. Belisle, A. Caballero, H. Galletti, O. Lacayo, S. Ortiz, y D. Robinson, 2002. *Comunidades forestales y el mercadeo de maderas tropicales poco comerciales de Mesoamérica*. México, DF, pp. 39-46.
- Fournier, L.A., 1974. "Un método cuantitativo para la medición de características fenológicas en árboles". *Turrialba*, **24**: 422-423.
- Hueveldop, J.; J. Pardo, S. Quiros, y L. Espinoza, 1986. *Agroclimatología tropical. Universidad estatal a distancia*. San José Costa Rica, pp. 169-173.
- Jiménez-Osornio, J.J.; M.R. Ruenes, y P. Montañez, 1999. "Agrodiversidad de los solares de la Península de Yucatán". *Red de Gestión de Recursos Naturales*, **14**: 30-40.
- Littell, R.C.; W. Stroup, y R.J. Freund. 2002. *SAS® for linear models*. SAS Institute, 4a. ed. Cary, North Carolina, 466 pp.
- Mostacedo, B., y T. Fredericksen, 2000. "Manual de métodos básicos de mues-

- treo y análisis en ecología vegetal”. *Proyecto de Manejo Forestal Sostenible (BOLFOR)*, pp. 59-63.
- Orellana, R.; I. Gerald, y C. Espadas, 2003. “Presente, pasado y futuro de los climas de la Península de Yucatán”. P. Colunga, y A. Larqué (eds.). *Naturaleza y sociedad en el área maya*. Academia Mexicana de Ciencias, México, DF, pp: 37-51.
- Parra-Tabla, V., y S.H. Bullock, 1998. “Factors limiting fecundity of the tropical tree *Ipomoea wolcottiana* (Convolvulaceae) in a Mexican tropical dry forest”. *Journal of Tropical Ecology*, **14**: 615-627.
- Pennington, T.D., y J. Sarukhán, 1968. *Árboles tropicales de México. Manual para la identificación de las principales especies*. Universidad Nacional Autónoma de México/Fondo de Cultura Económica, México, DF, pp. 89-90.
- Pinheiro, J.; B. Douglas, S. DebRoy, y S. Deepayan, 2013. *Linear and nonlinear mixed effects models*. R package version 3.1-111.
- Ramírez, C.S., y J.J. Armesto, 1994. “Flowering and fruiting patterns in temperate rainforest of Chiloe, Chile ecologies and climatic constraints”. *Journal of Ecology*, **82**(2): 353-365.
- Reich, P., y R. Borchert, 1982. “Phenology and ecophysiology of the tropical tree, *Tabebuia neochrysantha* (Bignoniaceae)”. *Ecology*, **63**(2): 294-299.
- Reuter, M., 2005. “Limiting factors for the establishment of *Cordia dodecandra* A.DC. and *Bixa orellana* L. on semi-arid calcareous soils in Yucatan, Mexico”. Tesis de doctorado, Center for Development Research (ZEF) Department of Ecology and Natural Resource Management. 108 pp.
- Reuter, M.; H. Tiessen, J.J. Jiménez O., J. Pohlan, y P.L.G. Vlek, 2008. Establishment of *Cordia dodecandra* A.DC. with *Bixa orellana* L. on calcareous soils in Yucatan, México. Toward agroforestry design: an ecological approach. Springer, New York, pp. 195-205.
- Salinas, P.L., y V. Parra, T., 2007. “Phenology and pollination of *Manilkara zapota* in forest and homegardens”. *Forest Ecology and Management*, **248**: 136-142.
- Tamaro, D., 1979. *Tratado de fruticultura*. 4a. ed. Gustavo Gili, Barcelona, pp. 32-80.
- Tissue, D., y S. Wright, 1995. “Effect of seasonal water availability on phenology and annual shoot carbohydrate cycle of tropical forest shrubs”. *Functional Ecology*, **9**: 518-527.
- Valdez-Hernández, M.; J.L. Andrade, P. Jackson, y M. Rebolledo-Vieyra, 2009. “Phenology of five tree species of a tropical dry forest in Yucatan, Mexico: effects of environmental and physiological factors”. *Plant Soil*, **329**: 155-171.

Recibido: 25 noviembre 2013. Aceptado: 17 noviembre 2015.