

Fenología y fecundidad del yopo pelú (*Mimosa trianae*, Fabaceae) y su relación con variables ambientales en tres localidades de dos regiones de Colombia: Piedemonte Orinocense y Valle del Cauca

Phenology and fecundity of the yopo pelú (*Mimosa trianae*, Fabaceae) and its relationship with environmental variables in two regions of Colombia: Orinoco foothills and Valle del Cauca

Adriana Maria Giraldo-Sánchez^{1*}, Zoraida Calle-D¹

- Recibido: 04/Nov/2021
- Aceptado: 02/Feb/2023
- Publicación en línea: 02/May/2023

Citación: Giraldo-Sánchez AM, Calle-D Z. 2023. Fenología y fecundidad del yopo pelú (*Mimosa trianae*, Fabaceae) y su relación con variables ambientales en tres localidades de dos regiones de Colombia: Piedemonte Orinocense y Valle del Cauca. *Caldasia* 45(2):310-322. doi: <https://doi.org/10.15446/caldasia.v45n2.99122>

RESUMEN

Mimosa trianae es un árbol multipropósito de la familia Fabaceae, endémico del Piedemonte Orinocense en Colombia, cuyos rodales naturales han sido sobreexplotados para la obtención de leña. Este estudio evaluó los patrones fenológicos de esta especie, su relación con el fotoperíodo y la precipitación, y la fecundidad de los árboles en una población silvestre del municipio de Medina (Cundinamarca) y en cercas vivas asociadas a sistemas silvopastoriles en Cubarral (Meta) y El Cerrito (Valle del Cauca). En cada localidad se hicieron visitas quincenales y mensuales para la observación de las fases fenológicas y la estimación del tamaño de las cosechas de flores y frutos. Este estudio reveló que *Mimosa trianae* tiene un patrón anual de reproducción, con un evento reproductivo que se extiende desde septiembre hasta abril, caracterizado por un alto nivel de sincronía entre individuos. Los árboles de El Cerrito tuvieron la mayor fecundidad. En las tres localidades, la iniciación de la floración coincidió con el descenso en el fotoperíodo que ocurre después del equinoccio de otoño. Aunque la precipitación coincidió con la floración en el Valle del Cauca, no se observó una relación consistente entre las lluvias y el inicio del período reproductivo. Los resultados de este estudio contribuyen al conocimiento ecológico de esta especie y brindan información para la cosecha de semillas para procesos de restauración ecológica y sistemas agroforestales y silvopastoriles.

Palabras clave: Árboles multipropósito, fecundidad, fotoperíodo, restauración ecológica, sistemas agroforestales.

¹ Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria- CIPAV, Cra 25 # 6-62 Cali, Colombia, adrimagi@fun.cipav.org.co, zoraida@fun.cipav.org.co

* Autor para correspondencia.



ABSTRACT

Mimosa trianae is a multipurpose tree of the Fabaceae family, endemic to the Andean-Orinoco foothills of Colombia. Natural stands of this species have been overexploited as a source of firewood. This study explored the phenology of this species, its relationship to photoperiod and rainfall, and the fecundity of trees in a natural population of Medina (Cundinamarca) and live fences at Cubarral (Meta) and El Cerrito (Valle del Cauca). Biweekly and monthly visits were made to each locality, to observe the phenological phases and estimate the size of flower and fruit crops. *M. trianae* showed annual flowering and fruiting patterns, with a single reproductive event between September and April, characterized by a high degree of synchrony between individuals. Trees at El Cerrito showed the highest fecundity. Flowering initiation at the three sites coincided with the decline in photoperiod that occurs after the autumn equinox. No consistent relationship was observed between rainfall and the beginning of the reproductive period. The results of this study provide insights into the proper use of this tree in agroforestry, silvopastoral systems, and ecological restoration.

Keywords: Agroforestry systems, ecological restoration, multipurpose trees, photoperiod.

INTRODUCCIÓN

La fenología de las plantas analiza los patrones temporales de recambio foliar (fase vegetativa), floración y fructificación (fase reproductiva) a lo largo del año y durante el ciclo de vida. Estos patrones están influenciados por factores genéticos, climáticos, edafológicos, bióticos, por las estaciones, y el fotoperíodo o por interacciones entre estos factores (Mantovani *et al.* 2003, Ochoa-Gaona *et al.* 2008, Cárdenas *et al.* 2015, Abernethy *et al.* 2018, Ferreira *et al.* 2021).

Por otra parte, la fecundidad expresa el potencial reproductivo de los organismos. La fecundidad de las plantas es determinada por el tamaño, el estado fitosanitario, la polinización y la genética, entre otros factores, y se describe en términos del número de semillas que forma un individuo o una población. Una alta fecundidad incide en el éxito reproductivo de los individuos y la continuidad de las poblaciones (Copete *et al.* 2008, Wolowski y Freitas, 2011, Rivera *et al.* 2014).

Los patrones temporales, la duración y sincronía de las fases fenológicas, la fecundidad de los árboles y la relación de estos factores con el medio, son parte esencial del conocimiento ecológico que se requiere para planificar la recolección de semillas y diseñar estrategias de restauración, conservación de los recursos genéticos y manejo forestal, agroforestal o de áreas silvestres (Calle 2002, Mantovani *et al.* 2003, Badeck *et al.* 2004, Freitas y Bolmgren 2008,

Françoso *et al.* 2014, Montagnini *et al.* 2015, Sakai y Kitajima 2019, Lubke *et al.* 2021).

El yopo pelú, *Mimosa trianae* Benth. (Fabaceae-Caesalpinioideae), es un árbol endémico del Piedemonte Orinocense de Colombia (Cordillera Oriental y Llanos Orientales) (Santos-Silva *et al.* 2015). Este árbol mediano, de fuste muy ramificado y copa rala, tiene hojas compuestas, bipinnadas, alternas y helicoidales. Las inflorescencias son panículas de espigas, con numerosas flores blancas tetrámeras. Los frutos, llamados craspedios, son legumbres articuladas y planas (Barneby 1991, Santos-Silva *et al.* 2015). Este árbol se ha integrado en sistemas silvopastoriles (SSP) y agroforestales (SAF) en diferentes regiones de Colombia durante la última década y su madera se usa como leña para asar carne en restaurantes (Calle *et al.* 2010, Zuluaga *et al.* 2011). Sin embargo, la información publicada sobre la ecología de esta especie de la familia Fabaceae (Barneby 1991, Forero y Romero 2005, Santos-Silva *et al.* 2015) aún es escasa.

Una evaluación reciente del estado de conservación de *M. trianae* (Lopez-Gallego y Morales 2020) considera que la especie está En Peligro. Las poblaciones silvestres del Piedemonte Orinocense han tenido una disminución continua, asociada al aprovechamiento inadecuado de los rodales naturales, la expansión de la frontera agropecuaria y el tráfico de madera. El conocimiento sobre la fenología

y la fecundidad de esta especie es esencial para su buen manejo y conservación.

El presente trabajo evalúa la fenología y fecundidad de *M. trianae* y explora la relación que existe entre la floración y dos variables ambientales (fotoperiodo y la precipitación). Esta información contribuye al conocimiento aplicable al manejo de esta especie como recurso forestal para la producción sostenible y la restauración ecológica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de estudio

El estudio se llevó a cabo en dos regiones de Colombia: (1) Piedemonte Orinocense (estribaciones orientales de

la Cordillera Oriental), donde se incluyeron dos localidades: (a) finca Villa Sandy (vereda San Miguel, municipio de Cubarral, Meta), a una altitud de 560 m.s.n.m. en las coordenadas 3° 47' norte 73° 46' oeste; (b) veredas Choapal y Fátima (municipio de Medina, Cundinamarca), a una altura de 576 m.s.n.m. en las coordenadas 4° 32' norte 73° 21' oeste. Ambas localidades pertenecen a zona de vida bosque muy húmedo tropical (bmh-T; Holdridge 1987). (2) Valle geográfico del río Cauca, vertiente occidental de la cordillera Central, Reserva Natural El Hatiko (municipio de El Cerrito, Valle del Cauca), zona de vida bosque seco tropical (bs-T) (Holdridge, 1987), a 1000 m.s.n.m. en las coordenadas 3° 38' 04" norte 76° 19' 22" oeste (Fig.1). La distancia entre las localidades del Piedemonte Orinocense y el Valle del Cauca es de 246 km aproximadamente.

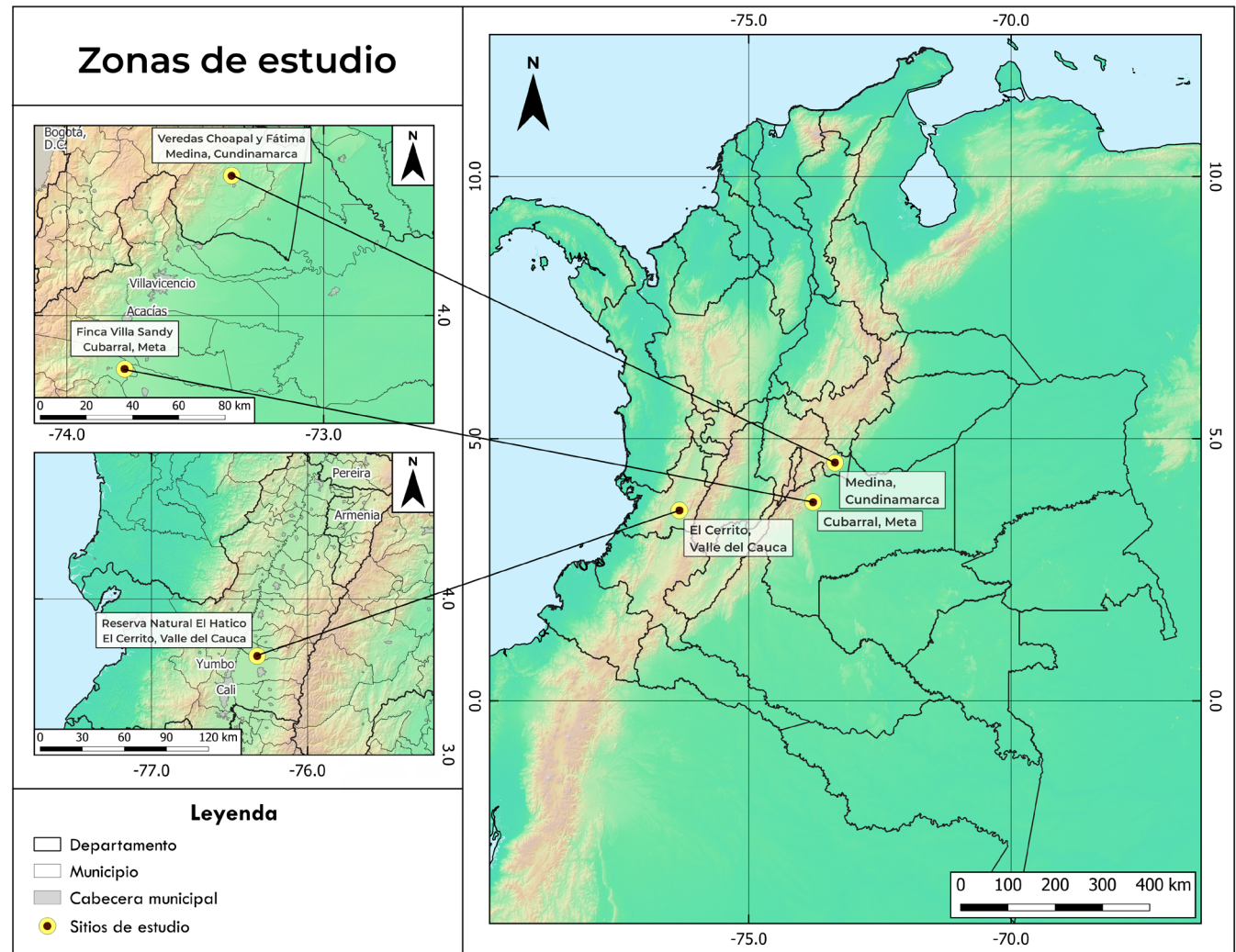


Figura 1. Sitio de estudio: Veredas Choapal y Fátima, Medina Cundinamarca, Finca Villa Sandy, Cubarral, Meta y Reserva Natural El Hatiko, El Cerrito, Valle del Cauca.



Brotes incipientes



Brotes redondos de color verde



Etapas 1 y 2 en la fenología reproductiva de *Mimosa trianae* Benth. (Leguminosae-Caesalpinioideae): inflorescencias con flores en preantesis e inflorescencias con flores en antesis (fotos: Adriana María Giraldo-S).



Inflorescencias con flores en antesis



Espiga de flores en antesis



Detalle de flor en antesis

Etapas 1 y 2 en la fenología reproductiva de *Mimosa trianae* Benth. (Leguminosae-Caesalpinioideae): inflorescencias con flores en preantesis e inflorescencias con flores en antesis (fotos: Adriana María Giraldo-S).

Figura 2. Etapas 1 y 2 en la fenología reproductiva de *Mimosa trianae* Benth. (Leguminosae-Caesalpinioideae): inflorescencias con flores en preantesis e inflorescencias con flores en antesis (fotos: Adriana María Giraldo-S).

Diseño de investigación

En el Piedemonte Orinocense, el seguimiento fenológico se llevó a cabo en 60 árboles (30 individuos de rodales naturales en Medina y 30 en cercas vivas plantadas en el año 2009 en Cubarral). En la Reserva Natural El Hatico (Valle del Cauca), se estudiaron 45 árboles que habían sido plantados en una cerca viva en el año 2013. Se evaluaron árboles con alturas entre 5.3 y 21.3m, DAP entre 125 y 567mm, área de copa entre 24 y 199m² y tres a seis ramas de primer orden.

Se seleccionaron árboles a lo largo de transectos de 200m de longitud por 5m de ancho, distribuidos en cercas vivas, potreros y bordes de bosque (Bencke y Morellato 2002, D'eca-Neves y Morellato 2004) y se prefirieron árboles de aspecto saludable con una altura superior a cinco metros con el fin de garantizar su estado reproductivo (Cárdenas *et al.* 2015). Cada árbol fue marcado con una etiqueta de plástico siguiendo una numeración consecutiva (Ochoa-Gaona *et al.* 2008).



a. Infrutescencias inmaduras con brotes incipientes de legumbres (fase 1)



b. Infrutescencias inmaduras con legumbres en formación (fase 2)



c. Infrutescencia inmadura con legumbres bien formadas de color verde y semillas en formación (fase 3)

Etapa 3. Infrutescencias inmaduras: desde los brotes incipientes de las legumbres hasta aquellas recién formadas, de color verde.

Figura 3. Etapa 3 de la fenología reproductiva de *Mimosa trianae* Benth. (Fabaceae-Caesalpinioideae): infrutescencias inmaduras, desde brotes incipientes hasta legumbres verdes recién formadas (fotos: Adriana María Giraldo-S).



Etapa 4. Infrutescencia madura, legumbres bien formadas de color amarillo pardo, con semillas bien formadas de color verde.



Etapa 5. Infrutescencia seca, legumbre de color café, con semillas bien formadas de color café claro.



Figura 4. Etapas 4 y 5 de la fenología reproductiva de *Mimosa trianae* Benth. (Fabaceae-Caesalpinioideae): infrutescencia madura e infrutescencias secas (fotos: Adriana María Giraldo-S).

El seguimiento fenológico se realizó durante 10 meses (agosto de 2017 a junio de 2018), con observaciones mensuales en las localidades del Piedemonte Orinocense. En la localidad del Valle del Cauca, se hicieron observaciones quincenales durante la etapa reproductiva con el fin de obtener estimativos más confiables de la fecundidad en la plantación *ex situ* (Justiniano y Fredericksen 2000, Talora y Morellato 2000). Se aplicó la metodología descrita y utilizada por Calle (2002) en la investigación sobre fenología de *Montanoa quadrangularis* Sch. Bip. (Asteraceae) para la toma de datos en campo y el análisis estadístico, que se describe a continuación.

Para caracterizar el recambio foliar, se registró la abundancia relativa de hojas nuevas (recién formadas) de cada árbol y se asignó un valor para cada situación encontrada (Falcao y Clement 2000, Calle 2002): (a). 0 (ninguna) sin presencia de hojas nuevas; (b). 1 (pocas) hojas nuevas en menos del 50 % del árbol. (c). 2 (muchas) hojas nuevas en más del 50% del árbol.

Para describir las fenofases reproductivas, se diferenciaron cinco etapas de la formación de las flores y frutos (Falcao y Clement 2000, Calle 2002). *Etapa 1): Inflorescencia en preanthesis*, brotes incipientes a brotes redondos de color verde (Fig. 2). *Etapa 2): Inflorescencias con flores en anthesis*, es decir, flores completamente formadas, con cáliz de color amarillo, corola blanca, estambres y pistilo extendidos (Fig. 2). *Etapa 3): Infrutescencias inmaduras*, desde brotes incipientes de las legumbres hasta legumbres verdes recién formadas, con semillas en desarrollo (Fig. 3). *Etapa 4): Infrutescencias maduras*, legumbres bien formadas de color amarillo pardo, con semillas bien desarrolladas, de color verde (Fig. 4). *Etapa 5): Infrutescencias senescentes*, legumbre de color café, con semillas bien formadas de color café claro (Fig. 4).

Para describir los patrones temporales de floración y fructificación, se contaron las ramas que presentaron estructuras en cada una de las

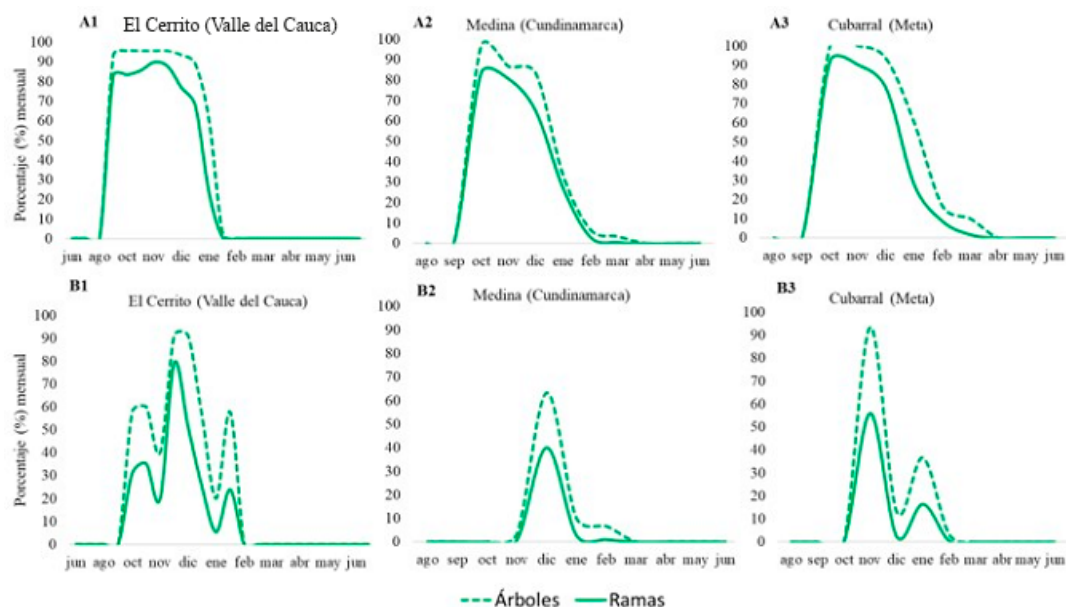


Figura 5. Variación temporal en el porcentaje de árboles y ramas de *Mimosa trinae* Benth. (Fabaceae-Caesalpinoideae) (promediado para todos los árboles) con inflorescencias en preantesis (A1-A3) y antesis (B1-B3) en las tres localidades de estudio (Municipios de Medina, Cubarral y El Cerrito, Colombia) (agosto de 2017 a junio de 2018).

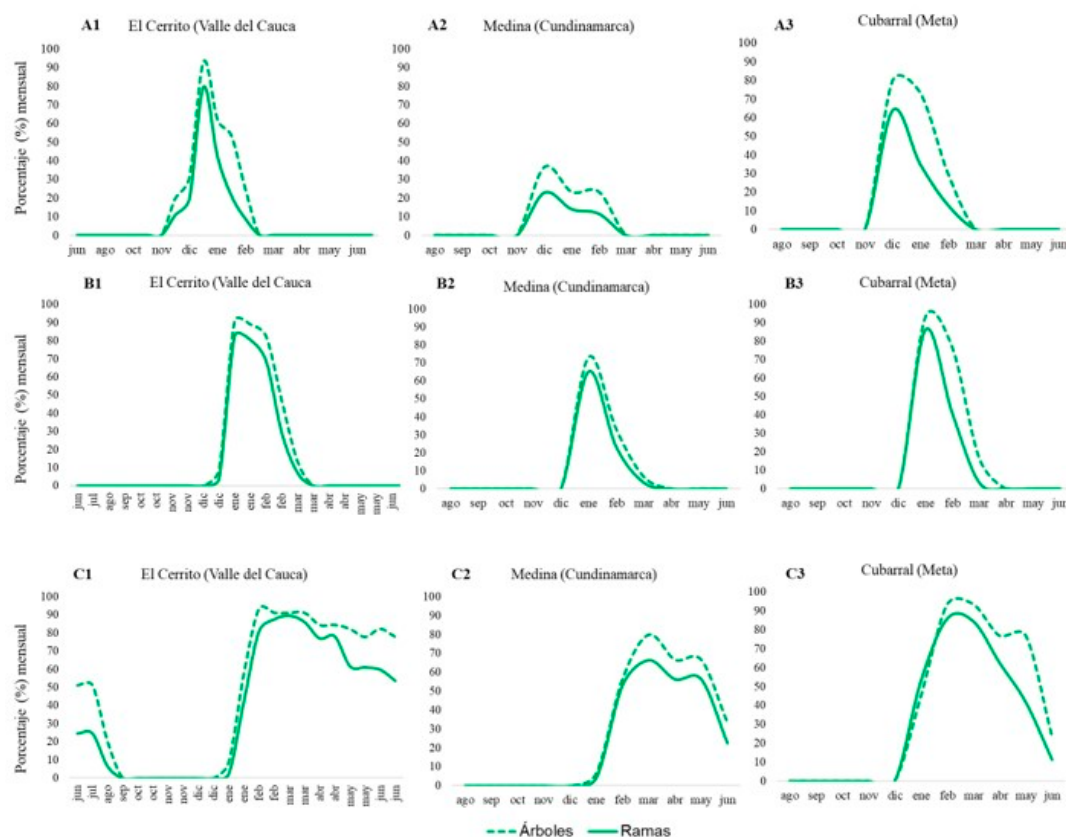


Figura 6. Variación temporal en los porcentajes de árboles y ramas de *Mimosa trinae* Benth. (Fabaceae-Caesalpinoideae) (promediado para todos los árboles) con infrutescencias inmaduras (A1-A3), maduras (B1-B3) y senescentes (C1-C3) en las tres localidades de estudio (Municipios de Medina, Cubarral y El Cerrito, Colombia) (agosto de 2017 a junio de 2018).

etapas descritas anteriormente, en cada árbol y en cada jornada de seguimiento. Para estimar la fecundidad de cada árbol en términos del número de espigas con flores y frutos, se seleccionaron al azar tres ramas en las partes baja, media y superior del árbol, y se hicieron conteos de

tallados de las inflorescencias en etapas uno y dos, el número de espigas con flores por inflorescencia, el número de flores por espiga (diez por cada árbol), las infrutescencias en etapas tres, cuatro y cinco y los números de espigas y legumbres por infrutescencia.

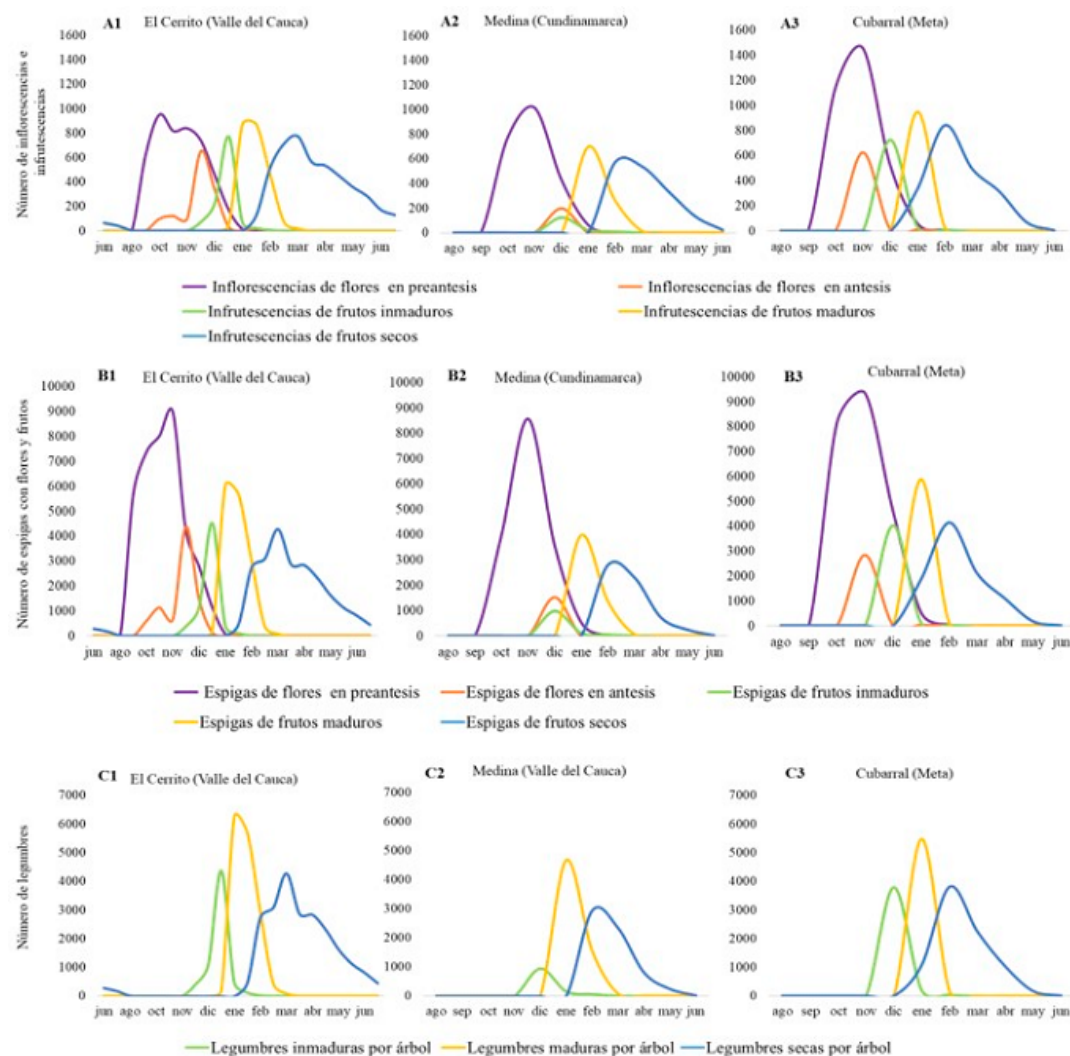


Figura 7. Variación temporal en la abundancia de inflorescencias infrutescencias (A1-A3), espigas (B1-B3), y legumbres (C1-C3) de *Mimosa trinae* Benth. (Fabaceae-Caesalpinoideae) en las cinco fases fenológicas evaluadas en las tres localidades de estudio (Municipios de Medina, Cubarral y El Cerrito, Colombia) (agosto de 2017 a junio de 2018).

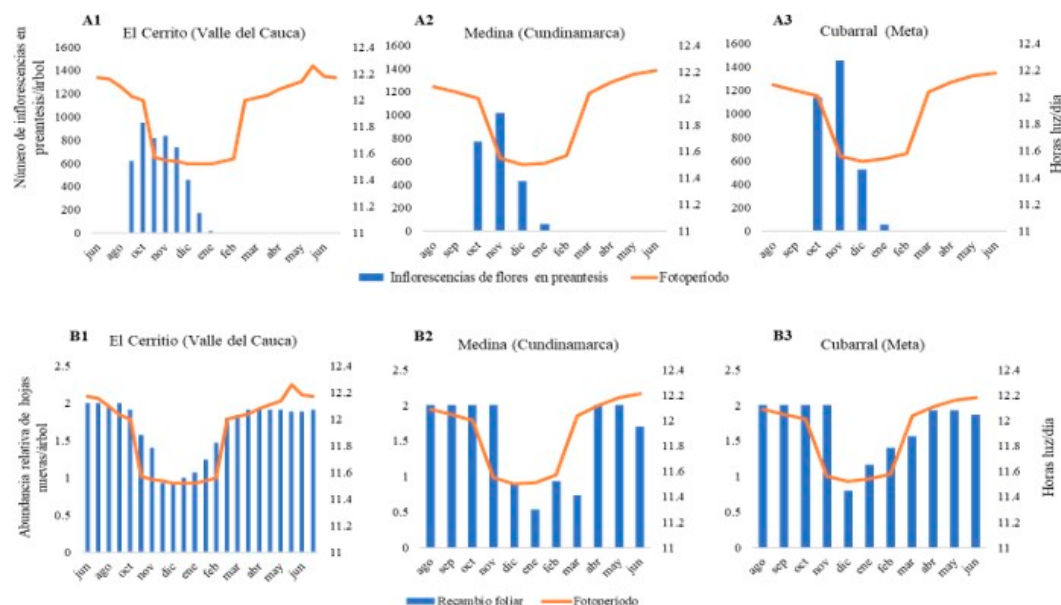


Figura 8. Fotoperíodo e inicio de la floración (A1-A3) y el recambio foliar (B1-B3) de *Mimosa trinae* Benth. (Fabaceae-Caesalpinoideae) en las tres localidades de estudio (Municipios de Medina, Cubarral y El Cerrito, Colombia) (agosto de 2017 a junio de 2018).



Figura 9. Variación mensual en la precipitación e inicio de la floración (A1-A3) y el recambio foliar (B1-B3) de *Mimosa trinae* Benth. (Fabaceae-Caesalpinioideae) en las tres localidades de estudio (Municipios de Medina, Cubarral y El Cerrito, Colombia) (agosto de 2017 a junio de 2018).

Se exploró la influencia de dos variables ambientales (precipitación y fotoperíodo o duración de la luz del día; Van der Staay, 2019 sobre la floración y el recambio foliar (Calle 2002, Borchert *et al.* 2005, Ochoa-Gaona *et al.* 2008, Calle *et al.* 2009, Calle *et al.* 2010, Françoso *et al.* 2014).

Análisis estadístico

Los patrones temporales de floración, fructificación y recambio foliar se describieron en términos de dos variables: el porcentaje de árboles y el porcentaje de ramas en cada fenofase (promediado para los árboles de cada población). La fecundidad de los árboles en las tres localidades se estimó a través de la sumatoria del número de estructuras reproductivas (flores y frutos) contadas en cada árbol durante diez meses. Se usó un análisis descriptivo para ilustrar la variación temporal en la actividad de formación de flores y frutos.

Se exploró la relación entre la iniciación de la floración (evaluada en términos del número de inflorescencias con flores en preantesis) y el recambio foliar con la precipitación y el fotoperíodo. Para los análisis descriptivos, de fre-

cuencias y tendencia, se utilizó el software Microsoft Excel versión 2016.

RESULTADOS

Patrón temporal de la reproducción

Los datos obtenidos se resumen en términos de dos variables: porcentaje de árboles y porcentaje de ramas con estructuras propias de cada fase fenológica.

Inflorescencias en preantesis

Esta fase se registró en 95 y 98 % de los árboles en las localidades de El Cerrito y Medina, respectivamente (Figs. 5A1 y 5A2) y en el 100 % de los árboles en Cubarral (30 árboles) (Fig. 5A3), con una diferencia de tres semanas entre localidades. Esto indica un grado importante de sincronía en las tres poblaciones y entre ellas. En Cubarral se registró el mayor porcentaje de ramas con inflorescencias en preantesis, con 92 % (3-9 ramas por árbol), seguido de El Cerrito con 90 % (2-9 ramas por árbol) y Medina con 83 % (2-8 ramas por árbol).

En dos de las tres localidades, se presentaron diferencias temporales en la duración de la fase de inflorescencias en preantesis. En El Cerrito se registró de agosto a enero (seis meses), con un pico de actividad de formación de inflorescencias entre septiembre y noviembre. En Medina y Cubarral, se registró de septiembre a abril (ocho meses), con picos de abundancia entre octubre y noviembre. En las dos localidades ubicadas en el Piedemonte Orinocense la floración inició un mes después que en la localidad situada en el Valle del Cauca (El Cerrito) (Figs. 5A1-A3).

Inflorescencias en antesis

A lo largo del año, la presencia de flores en antesis varió entre 3-93 % de los árboles y entre el 1-79 % de las ramas por árbol en El Cerrito, Cubarral y Medina, respectivamente (Fig. 5B1-5B3). Esta fase tuvo una duración de cinco meses en las tres localidades: septiembre a febrero en El Cerrito, noviembre a marzo en Medina y octubre a marzo en Cubarral. En El Cerrito se observaron dos interrupciones en la floración: a finales de octubre y en enero (asociadas a fuertes lluvias y vendavales en la zona). La máxima abundancia de flores en antesis en las tres localidades se registró entre la segunda quincena de noviembre y la primera de diciembre. Sin embargo, en Cubarral se observó una interrupción de la floración en diciembre, al comienzo de la estación seca (Figs. 5B1-B3).

Fructificación

La fructificación fue mayor en El Cerrito (93 % de los árboles y 80 % de las ramas) (Fig. 6A1), intermedia en Cubarral (80 % de los árboles y 64 % de las ramas) (Fig. 6A3) y notoriamente menor en Medina (37 % de los árboles y 23 % de las ramas) (Fig. 6A2). En las tres localidades, esta fase se registró de noviembre a febrero (El Cerrito) y de noviembre a marzo (Cubarral y Medina), con el pico de actividad en diciembre.

Se observaron infrutescencias maduras y senescentes en 93 % de los árboles y 89 % de las ramas en El Cerrito, 93 % de los árboles y 86 % de las ramas en Cubarral y 80 % de los árboles y el 66 % de las ramas en Medina. La maduración de los frutos inició en noviembre y se extendió hasta marzo en El Cerrito y de diciembre a abril en Medina y Cubarral, con el pico de mayor actividad en enero (Figs. 6B1-B3). Los frutos senescentes se observaron entre mediados de diciembre y junio en las tres localidades, con valores máximos entre febrero y marzo. En los meses de febrero y marzo, las semillas estaban completamente formadas y maduras en la totalidad de los árboles (Figs. 6C1-C3).

Fecundidad

Los resultados de la fecundidad se presentan para cada tipo de estructura reproductiva y fenofase evaluada durante el seguimiento fenológico.

Estructura reproductiva 1:

Inflorescencias e infrutescencias

La población de Cubarral presentó la mayor abundancia de inflorescencias en preantesis e infrutescencias (maduras y senescentes) en el periodo de estudio (Fig. 7A3). La población de El Cerrito, tuvo la mayor abundancia de flores en antesis e infrutescencias inmaduras (Fig. 7A1), en tanto que la población de Medina tuvo la menor fecundidad (Fig. 7A3).

La fecundidad más alta se registró en los árboles de Cubarral, con un promedio de 1457 inflorescencias en preantesis, de las cuales 949 formaron infrutescencias maduras (65%) (Fig. 7A3). Los árboles de Medina tuvieron valores intermedios, con 1016 inflorescencias en preantesis y 700 infrutescencias maduras, que equivalen a 69 % (Fig. 7A2). Los árboles de El Cerrito tuvieron una menor cosecha de inflorescencias en preantesis (950), pero éstas dieron origen a 873 infrutescencias maduras; por lo tanto, la proporción de flores que se transformaron en frutos fue la más alta entre las tres localidades (92 %) (Fig. 7A1).

Estructura reproductiva 2: Espigas por inflorescencia e infrutescencia

El número de espigas por inflorescencia e infrutescencia varió entre cuatro y doce, en 105 árboles evaluados. En las tres localidades, el número de espigas con flores en preantesis fue mayor que el de espigas con flores en antesis. Esto se debe en parte a que la floración de esta especie es efímera o “explosiva” (tiene una duración promedio de sólo ocho días); por lo tanto, la frecuencia del seguimiento fenológico de este estudio no permitió registrar la totalidad de la producción. Por otro lado, es posible que algunas espigas se desprendieran después de la preantesis o que no hubieran avanzado en su desarrollo más allá de esta etapa.

Un patrón similar se observó con los frutos inmaduros. En las flores en postantesis (estructura de la flor seca de color café) no fue posible detectar a simple vista cuáles estaban fecundadas y cuáles estaban en proceso de aborto. Además, el desarrollo de los frutos ocurrió en un periodo corto y la frecuencia de muestreo no permitió registrar la totalidad de las estructuras (Figs. 7B1-B3).

En El Cerrito se registraron las cosechas de mayor tamaño en casi todas las fenofases, desde las espigas con flores en antesis (4381) hasta los frutos maduros (6044) (Fig. 7B1). En Cubarral se registró la mayor cantidad de espigas con flores en preantesis (9349) (Fig. 7B3) y menos estructuras de las demás fenofases que en El Cerrito. En Medina se registró la fecundidad más baja (Fig. 7B2).

Estructura reproductiva 3: Número promedio de legumbres por espiga

En las tres localidades se hicieron conteos del número de estructuras por espiga: flores en preantesis (257 en promedio), flores en antesis (161), legumbres inmaduras y maduras (una a diez por cada espiga) y semillas (cinco por legumbre). En la localidad de El Cerrito se registró la mayor cosecha de legumbres con un promedio de 6044 y 30220 semillas (Fig. 7C1), seguido de Cubarral con 5885 legumbres y 29 425 semillas (Fig. 7C3) y por último Medina con 3978 legumbres y 19 890 semillas (Fig. 7C2).

VARIABLES AMBIENTALES

Fotoperiodo

En las tres localidades evaluadas, la floración de *M. trianae* inició poco después del equinoccio de otoño (septiembre 22). Los registros fenológicos de las tres localidades sugieren que la inducción de la floración ocurre alrededor de esa fecha. El descenso rápido en el fotoperíodo (o alguna señal ambiental relacionada con el acortamiento de la luz del día, tal como la insolación, Calle et al. 2009) parece desencadenar la floración sincrónica de las tres poblaciones de árboles (Figs. 8A1-A3).

En cuanto al recambio foliar, en las tres poblaciones la fase más activa (período de mayor abundancia relativa de hojas nuevas) coincidió con el período de baja actividad reproductiva: marzo a septiembre en El Cerrito y abril a noviembre en Medina y Cubarral. Se observó una reducción en la actividad después el equinoccio de otoño, durante los meses de la floración y fructificación de los árboles: octubre a febrero en El Cerrito y diciembre a marzo en Medina y Cubarral (Figs. 8B1-B3).

Precipitación

En las tres poblaciones estudiadas, la iniciación de la floración coincidió con los meses de mayor precipitación (octubre y noviembre). A pesar de la coincidencia entre iniciación de la floración y las lluvias intensas, no se observó

una relación consistente entre la distribución mensual de las lluvias y la floración (Figs. 9A1-A3).

En las tres localidades, el recambio foliar disminuye durante el período reproductivo, principalmente en la fase de flores en antesis y fructificación. Esta es la época de mayor precipitación en El Cerrito, mientras que en Medina y Cubarral es la época en que empiezan a disminuir las lluvias (Figs. 9B1-B3).

DISCUSIÓN

Patrón temporal de la reproducción

En las tres localidades de estudio, los árboles de *M. trianae* presentaron un patrón reproductivo anual, con actividad en el mismo periodo (septiembre a abril). Estos resultados indican una fuerte sincronía dentro y entre las poblaciones, con una intensidad promedio entre 60 y 90 % de las ramas para cada fenofase. La floración sincrónica en las poblaciones de plantas influye en el éxito reproductivo de los individuos porque determina el nivel de fertilización cruzada o alofecundación (Poole y Rathcke 1979, Ollerton y Lack 1992).

Otras investigaciones fenológicas de árboles de la familia Fabaceae han mostrado patrones reproductivos diferentes. En algunas especies de árboles se ha observado sincronía entre poblaciones e individuos que presentan tres eventos de floración al año (Falcao y Clement 2000, Ochoa-Gaona et al. 2008). Otros estudios en bosques del sudeste de Brasil (Talora y Morellato 2000, Amorim et al. 2009) encontraron asincronía en la fase reproductiva con registros de tres a cinco eventos reproductivos al año en *Andira fraxinifolia* Benth., *Swartzia simplex* var. *grandiflora* (Raddi) Cowan, *Inga edulis* Mart., *Inga marginata* Willd., *Inga luschnatiana* Benth., *Mimosa acutistipula* (Mart.) Benth. y *Pithecellobium foliolosum* Benth. Otras familias de plantas tropicales, tales como las Bignoniáceas, presentan patrones fenológicos variados, que pueden estar relacionados con la biología de los polinizadores. Por lo tanto, la diversidad de polinizadores y sus hábitos alimenticios, probablemente favorece la coexistencia de diferentes patrones de floración de las plantas (Sakai 2001).

Fecundidad

En las tres localidades de estudio (El Cerrito, Medina, Cubarral), el número promedio de infrutescencias con frutos maduros por árbol fue mayor al de inflorescencias en antesis). Una explicación de este patrón es que la etapa de antesis es efímera, (no dura más de ocho días) y esto impide

registrar la cosecha total de flores completamente formadas en el intervalo de tiempo (15 a 30 días) entre las visitas de monitoreo. Sin embargo, se estima que entre el 65 al 92 % de las inflorescencias en preantesis fueron fecundadas.

Otros estudios de la fenología reproductiva de las fabáceas han mostrado patrones similares. En el departamento del Quindío, Colombia, Marín-Gómez *et al.* (2011) registraron un evento reproductivo en *Inga ornata* Kunth (Caesalpinioideae), de septiembre a marzo, con la formación de más flores que legumbres. En otra investigación llevada a cabo en Manaus, Brasil, Falcao y Clement (2000) registraron un promedio de 50 000 flores pero solo 500 frutos por árbol de *Inga edulis* Mart (Fabaceae). En ambas especies, las flores en antesis tienen una duración de sólo 24 horas.

Estos datos sugieren que el método para estimar la fecundidad basado en conteos de estructuras en intervalos regulares de tiempo subestima el número de estructuras de duración efímera, como las flores en preantesis y/o sobreestima el número de estructuras de mayor duración. Por otra parte, muchas plantas producen más flores que frutos por diferentes razones. Por ejemplo, el despliegue floral y el número de flores que abren diariamente determinan el potencial de visita de los polinizadores y el éxito de la polinización (Frankie *et al.* 1976, Stephenson 1982, Souza y Silveira 2018). Estas plantas producen cosechas de flores muy superiores al número de frutos que podrían formar con los recursos energéticos disponibles.

Variables ambientales

El fotoperíodo es la duración de la luz del día y varía a lo largo del año, según las estaciones, el ciclo solar y con la latitud (excepto en la línea ecuatorial, donde es constante), pero no varía de un año a otro y es independiente del clima. La floración estacional de los árboles en las mismas fechas cada año no puede ser inducida por la lluvia, que varía ampliamente entre localidades y entre años, sino que sugiere un control fotoperiódico (Calle *et al.*, 2009). Sin embargo, en la línea ecuatorial, también hay un gran número de especies que florecen cada año en fechas predecibles y en ecosistemas poco estacionales. En este caso, el factor involucrado en la inducción de la floración no puede ser el fotoperíodo, sino la insolación (Borchert *et al.* 2005, Calle *et al.* 2009, Calle *et al.* 2010).

El inicio de la etapa reproductiva de *M. trianae* en las tres localidades de estudio tiene una clara relación con el rápido descenso en el fotoperíodo que ocurre alrededor del

equinoccio de otoño (septiembre 22). Sin embargo, no es fácil diferenciar los efectos del fotoperíodo y la insolación. Para poder esclarecer cuál de las dos variables actúa como detonante de la floración en esta especie, sería necesario complementar este estudio con otras poblaciones de la misma especie en un rango mayor de latitudes y durante varios años (Calle *et al.* 2009; Calle *et al.* 2010).

En las tres localidades de estudio, los picos de precipitación del año 2017 coincidieron con el inicio y la mayor actividad de formación de las flores de *M. trianae*. Sin embargo, no es probable que las lluvias tengan una relación directa con las fases reproductivas en el Piedemonte Orinocense. En el Valle del Cauca, donde el segundo periodo de lluvias (de septiembre a diciembre) coincidió con el inicio de la fase reproductiva y la reducción del recambio foliar, es imposible separar los efectos del fotoperíodo y la precipitación sobre la fenología, a menos que se lleven a cabo estudios durante varios años.

Estudios de fenología de especies de la familia Fabaceae en bosques estacionales, muestran que en algunas especies, el inicio de la etapa reproductiva o la dispersión de las semillas están relacionadas con el periodo de las lluvias (Bulhao y Figueiredo 2002, Cruz Neto *et al.* 2007, Amorim *et al.* 2009, Marín-Gómez *et al.* 2011). Esto no excluye de ninguna forma que el fotoperíodo pueda estar implicado en la inducción de la floración.

En cuanto el recambio foliar, varios estudios hechos en ecosistemas marcadamente estacionales, han mostrado que los árboles pierden las hojas en la época seca evitando así la pérdida de agua, y la foliación ocurre al comienzo de las lluvias (Bulhao y Figueiredo 2002, Cruz Neto, Lopes y Machado 2007, Amorim *et al.* 2009, Marín-Gómez *et al.* 2011). En *M. trianae*, una especie endémica de una región con una baja estacionalidad en las lluvias, el recambio foliar se registró a lo largo del año, con excepción de la época reproductiva, cuando los árboles disminuyeron esta actividad y concentraron sus recursos en la formación de flores y frutos.

Los resultados de este estudio sugieren que entre febrero y abril es posible recolectar las semillas para proyectos agroforestales, silvopastoriles o de restauración ecológica, en las tres localidades. Para obtener leña sin sacrificar el potencial reproductivo de las poblaciones de yopo se recomienda cortar las ramas bajas de los árboles o hacer una extracción selectiva de individuos al final del evento reproductivo y después de la dispersión de las semillas (mayo a agosto). El ma-

nejo adecuado de las poblaciones naturales es fundamental para garantizar la conservación de la especie.

PARTICIPACIÓN DE AUTORES

AMG y ZC diseñaron la metodología, analizaron los datos y escribieron el artículo; AMG llevo a cabo el trabajo de campo.

AGRADECIMIENTOS

A CIPAV (Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria) y a ELTI (Environmental Leadership & Training Initiative) por su asesoría y financiación de la investigación. A la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira; esta investigación se llevó a cabo en el marco de la tesis de maestría en Ciencias Biológicas- Línea de investigación en Recursos Fitogenéticos Neotropicales cursada por AMGS. A Bernardo Murgueitio por la elaboración del mapa.

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no tienen conflicto de interés.

LITERATURA CITADA

- Amorim, I. L. de ., Sampaio, E. V. de S. B., & Araújo, E. de L.. (2009). Fenología de espécies lenhosas da caatinga do Seridó, RN. *Revista Árvore*, 33(3), 491–499. doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622009000300011>
- Abernethy K, Bush ER, Forget PM, Mendoza I, Morellato LP. 2018. Current issues in tropical phenology: a synthesis. *Biotropica*. 50(3):477-482. doi: <https://doi.org/10.1111/btp.12558>
- Badeck FW, Bondeau A, Böttcher K, Doktor D, Lucht W, Schaber J, Sitch S. 2004. Responses of spring phenology to climate change. *New Phytologist*. 162(2):295–309. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2004.01059.x>
- Barneby R C. 1991. *Sensitivae censitae: a description of the genus Mimosa Linnaeus (Mimosaceae) in the New World* / Rupert C. Barneby. p. cm — (Memoirs of the New York Botanical Garden, ISS N 0071-5794 ; ISS N v. 65) Includes bibliographical references and index. ISBN N 0-89327-366-X 1. *Mimosa—America—Classification*. I. Title. II. Series. Q K1. N52 5 vol. 65
- Bencke CSC, Morellato LPC. 2002. Estudo comparativo da fenologia de nove espécies arbóreas em três tipos de floresta atlântica no sudeste do Brasil. *Braz. J. Bot.* 25(2):237–248. doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-84042002000200012>
- Borchert R, Renner SS, Calle Z, Navarrete D, Tye A, Gautier L, Spichiger R, Von Hildebrand P. 2005. Photoperiodic induction of synchronous flowering near the Equator. *Nature*, 433: 627–629. doi: <https://doi.org/10.1038/nature03259>
- Bulhao CF, Figueiredo PS. 2002. Fenologia de leguminosas arbóreas em uma área de cerrado marginal no nordeste do Maranhão. *Braz. J. Bot.* 25(3):361–369. doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-84042002000300012>
- Calle Z, Galindo A, Murgueitio E. 2010. El yopo: Árbol llanero vital para los sistemas silvopastoriles de la cuenca del Orinoco. FEDEGAN, 11. [Retrieved from: 9 agosto 2017] static.fedegan.org.co/Revistas_Carta_Fedegan/148
- Calle Z. 2002. Fenología y regeneración natural del arboloco montanoa quadrangularis Sch. Bip. Asteraceae en una localidad de la cordillera occidental (El Dovio, Valle del Cauca, Colombia). [Tesis]. [Cali]: Universidad del Valle.
- Calle Z, Schlumberger BO, Piedrahita L, Leftin A, Hammer SA, Tye A, Borchert R. 2010. Seasonal variation in daily insolation induces synchronous bud break and flowering in the tropics. *Trees - Structure and Function*, 24, 865–877. doi: <https://doi.org/10.1007/s00468-010-0456-3>
- Calle Z, Strahler AH, Borchert R. 2009. Declining insolation induces synchronous flowering of Montanoa and Simsia (Asteraceae) between Mexico and the Equator. *Trees - Structure and Function*, 23:1247–1254. doi: <https://doi.org/10.1007/s00468-009-0364-6>
- Cárdenas M, Lemos V, Almario M, Gonzáles A, Hernández K, Figueroa J, Carvazos M. 2015. Fenología de cuatro especies arbóreas de bosque seco tropical en el Jardín Botánico Universitario, Universidad del Valle. *Actualidades Biológicas*, 37(103):121–130. <https://doi.org/10.17533/udea.acbi.v37n103a01>
- Copete MA, Herranz JM, Ferrandis P. 2008. Reproductive biology of the critically endangered endemic Mediterranean plant *Coincya rupestris* subsp. *rupestris* (Spain): the effects of competition and summer drought on seedling establishment. *ver. Chil. His.Nat.* 81(3):345-359. doi: <https://dx.doi.org/10.4067/S0716-078X2008000300004>
- Cruz-Neto O, Lopes AV, Machado IC. 2007. Fenologia, biologia reprodutiva e eficiência de dois visitantes da flora de espécies simpátricas de Inga (Leguminosae-Mimosoideae) em remanescente da floresta não a nordeste do Brasil. [Tesis]. [Recife]: Universidade Federal de Pernambuco.
- D'eca-Neves FF, Morellato LP. 2004. Métodos de amostragem e avaliação utilizados em estudos. *Acta Bot. Bras.* 18(1):99–108. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-33062004000100009>
- Falcao M, Clement CR. 2000. Fenologia e produtividade do Infá-Cipó (*Inga edulis*) na Amazônia Central. *Acta Amaz.* 30(2):173–180. doi: <https://doi.org/10.1590/1809-43922000302180>
- Ferreira GAC, Barnett APA, Krug C. 2021. Phenology and fruit set comparison of camu-camu (*Myrciaria dubia*) in a natural population and a plantation in the central Amazon, Brazil. *Acta Amaz.* 51(2):91-101doi: <https://doi.org/10.1590/1809-4392202000581>

- Forero E, Romero C. c2005. Estudios de leguminosas en Colombia. In Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (Vol. 25). [Retrieved from: 13 agosto 2017] <http://www.accefyn.org.co>
- Françoso R, de Camargo A., Prada M, Paiva AO, Hofmann E, Rodrigues JR. 2014. Fenologia e produção de frutos de caryocar brasiliense cambess. e enterolobium gummiferum (Mart.) J.F.Macbr. em diferentes regimes de queima. ver. *Árvore*. 38(4):579–590. doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622014000400001>
- Frankie GW, Opler PA, Bawa KS. 1976. Foraging behaviour of solitary bees: implications for outcrossing of a neotropical forest tree species. *Journal of Ecology*. 64(3):1049–1057. doi: <https://doi.org/10.2307/2258824>
- Freitas L, Bolmgren K. 2008. Synchrony is more than overlap: measuring phenological synchronization considering time length and intensity. *RevBrasil. de Bot.* 31(4):721–724. <https://doi.org/10.1590/S0100-84042008000400017>
- Holdridge L. 1987. Ecología basada en zonas de vida. IICA (pág. 219). San José, Costa Rica.
- Justiniano MJ, Fredericksen TS. 2000. Phenology of Tree Species in Bolivian Dry Forests. *BIOTROPICA*. 32(2):276–281. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2000.tb00470.x>
- Lopez-Gallego C, Morales M, P. 2020. Mimosa trianae. The IUCN Red List of Threatened Species 2020. doi: <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2020-2.RLTS.T153332591A153332594.es>
- Lubke L, Schramm BJ, Filippi M. 2021. Fenofases vegetativas e reprodutivas de Trema micrantha (L.) Blume no sudoeste do estado do Paraná. *Ciencia Florestal*. 31(2):863-879. doi: <https://doi.org/10.5902/1980509831766>
- Mantovani M, Ruschel AR, Sedrez M. Puchalski A, Onofre R. 2003. Fenologia reprodutiva de espécies arbóreas em uma formação secundária da floresta Atlântica. *Rev. Árvore*, 27(4):451–458. doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622003000400005>
- Marín-Gómez O, García CR, Gómez MW, Pinzón LW. 2011. Diversidad De Mariposas Y Su Relación Con La Fenología Reprodutiva De Inga Ornata Kunth (Mimosoidae) En Un Agroecosistema Ganadero Del Quindío, Colombia. *Boletín Científico. Centro de Museos. Museo de Historia Natural*. ISSN 0123 - 3068 bol. cient.mus.hist.nat. 15 (2): 105 – 118. <http://www.scielo.org.co/pdf/bccm/v15n2/v15n2a08.pdf>
- Montagnini F, Somarriba E, Murgueitio E, Fassola H, Eibl B. 2015. Sistema Agroforestales. Funciones Productivas, Socioeconómicas y Ambientales. Serie técnica. Informe técnico 402. CATIE, Turrialba, Costa Rica. Editorial CIPAV, Cali, Colombia. 454p.
- Ochoa-Gaona S, Pérez H y de Jong, Bernardus HJ. (2008). Fenología reproductiva de las especies arbóreas del bosque tropical de Tenosique, Tabasco, México. *Revista de Biología Tropical* , 56 (2), 657-673. http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442008000200020&lng=en&tlng=es.
- Ollerton J, Lack AJ. 1992. Flowering phenology: an example of relaxation of natural selection? *Trends in Ecology & Evolution*. 7(8):274–276. doi: [https://doi.org/10.1016/0169-5347\(92\)90175-B](https://doi.org/10.1016/0169-5347(92)90175-B)
- Poole RW, Rathcke BJ. 1979. Regularity, Randomness, and Aggregation in Flowering Phenologies. *Science*, 203(4037):470–472. doi: <https://doi.org/10.1126/science.203.4379.470>
- Rivera LE, Peñuela MC, Moreno F. 2014. Intra annual seed production and availability of two morphotypes of Brosimum rubescens taubert in forests of the Colombian Amazon. *Biota Neotrop.* 14(4)..doi: <https://doi.org/10.1590/1676-06032014007313>.
- Sakai S, Kitajima K. 2019. Tropical phenology: Recent advances and perspectives. *Ecol. Res.* 34:50–54. doi: <https://doi.org/10.1111/1440-1703.1131>
- Sakai S. 2001. Phenological diversity in tropical forests. *The Society of Population Ecology and Springer*. 43(1), 77–86. doi: <https://doi.org/10.1007/PL00012018>
- Santos-Silva J, Fragomeni SM, de Azevedo AM. 2015. Revisão taxonômica das espécies de Mimosa ser. Leiocarpae sensu lato (Leguminosae - Mimosoideae). *Rodriguésia* 66(1):095-154. : doi: <https://doi.org/10.1590/2175-7860201566107>
- Souza IM, Silveira L. 2018. Fenologia e modos de polinização e dispersão de Fabaceae em floresta ciliar , Chapada Diamantina , Nordeste do Brasil. 15 doi: <https://doi.org/10.13102/scb438>
- Stephenson AG. 1982. When does outcrossing occur in a mass-flowering plant ? *Evolution*. 36(4):762–767. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1558-5646.1982.tb05442.x>
- Talora D, Morellato PC. 2000. Fenologia de espécies arbóreas em floresta de planície litorânea do sudeste do Brasil. *Braz. J. Bot.* 23(1) doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-84042000000100002>
- Van der Staay, M. c2019. Solartopo. Daylength calculation [Retrieved from: 8 enero 2021]. www.solartopo.com
- Wolowski M, Freitas L. 2011. Reproduction, pollination and seed predation of Senna multijuga (Fabaceae) in two protected areas in the Brazilian Atlantic forest. *Revista de Biología Tropical*, 59(4):1669-1678. http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442011000400041&lng=en&tlng=en.
- Zuluaga A, Galindo W, Chará J, Calle Z. 2011. Descripción de los sistemas silvopastoriles y especies a utilizar en el proyecto. In Chará J, Murgueitio M, Zuluaga A, Giraldo C (Eds.), *Ganadería Colombiana Sostenible* (1ra ed., pp. 49–60). Cali.