

¿Como estimar la etapa fenológica de los árboles con un método práctico?

¿How to estimate the phenological stage of trees with a practical method?

Jesús Hemberg Duarte-Vargas¹, Omar Melo², Jairo Mora-Delgado¹, Román Castañeda-Serrano¹ & Henry Váquiro³

¹Grupo de Investigación en Sistemas Agroforestales Pecuarios, Universidad del Tolima, 730006, Ibagué, Colombia; Universidad del Tolima; ²Grupo de Investigación Biodiversidad y Dinámica de Bosques, Universidad del Tolima; ³Grupo de Investigación Centro de Desarrollo Agroindustrial del Tolima jhduarte@ut.edu.co

Resumen.

La evaluación constante de la fenología de los arboles es relevante para el análisis de la adaptación de las especies al cambio climático, la conservación de la biodiversidad, el manejo de ecosistemas y mejorar las prácticas agroforestales. Las observaciones y mediciones visuales directas se han usado para registrar el momento de los eventos fenológicos específicos para especies de plantas particulares, en pequeñas extensiones espaciales. En estudios de fenología es usado el método de Fournier siendo reconocido y recomendado por diferentes autores. El objetivo de este trabajo es ilustrar un método alternativo para determinar la fenología de un árbol. Se determinaron diferentes fenofases para lo cual se seleccionaron 30 árboles, fenotípicamente sanos y con capacidad reproductiva divididos en dos categorías de árboles con ($A < 6$ m y $A \geq 6$ m). Las mediciones fenológicas se realizaron cada 15 días durante 12 meses. Se consideraron las siguientes fenofases: hojas adultas (*Ha*), brotes u hojas jóvenes (*Br*), botones (*Bot*), floración (*FL*) y frutos1 (*F1*), frutos2 (*F2*) y frutos3 (*F3*). Se concluye que el método Duarte- Hemberg, es consistente y practico.

Palabras clave: Ecofisiología; agroforestería, observación, fenología

Abstract.

The constant assessment of the phenology of trees is significant for the adaptation analysis of species to climate change, the biodiversity conservation, management of ecosystems and the improvement of agroforestry practices. Direct visual observations and measurements have been used to record the timing of specific phenological events for particular plant species, in small spatial expanses. In phenology studies, the Fournier method has been recognized and recommended by different authors. The objective of this work is to illustrate an alternative method to determine the phenology of a tree. Different phenophases were determined for which 30 phenotypically healthy trees with reproductive capacity were selected divided into two categories of trees with ($A < 6$ m and $A \geq 6$ m). The phenological measurements were carried out every 15 days for 12 months. The following phenophases will be considered: adult leaves (*Ha*), shoots or young leaves (*Br*), buttons (*Bot*), flowering (*FL*) and fruits1 (*F1*), fruits2 (*F2*) and fruits3 (*F3*). It is concluded that the Duarte-Hemberg method is consistent and practical.

Keywords: Ecophysiology; agroforestry, observation, phenology

Introducción

La fenología indica el ritmo de los eventos periódicos en el ciclo de vida del organismo vivo y su variación temporal a lo largo del año (Piao et al., 2015), estudia el momento de los ciclos biológicos recurrentes y proporciona una medida de cómo los ecosistemas responden al clima (Parmesan 2006). La evaluación constante de la fenología es relevante para el análisis del cambio climático, la conservación de la biodiversidad, el manejo de ecosistemas (Lhermitte et al., 2011) y mejorar las prácticas agrícolas (Cunha et al., 2015).

Recientemente se ha reconocido la importancia de descripciones precisas de los patrones fenológicos reproductivos para el diseño de estrategias de conservación o gestión y programas de restauración ecológica (Morellato et al., 2016). Este conocimiento proporciona información sobre la disponibilidad de recursos a lo largo del año y permite determinar las estrategias de recolección de frutos, para su propagación y la alimentación de rumiantes entre otros. Es importante contar con estimaciones que expliquen el comportamiento o la dinámica de la especie y aún más cuando este comportamiento está influenciado por variables climáticas como la temperatura y la precipitación; en este escenario, la fenología permite conocer la dinámica de los procesos biológicos de las plantas, con respecto a su entorno biótico y abiótico (Davis, Willis, Primack, & Miller-Rushing, 2010).

Las observaciones y mediciones visuales directas se han usado para registrar el momento de los eventos fenológicos específicos (por ejemplo, floración) para especies de plantas particulares, en pequeñas extensiones espaciales (Ault, Schwartz, Zurita-Milla, Weltzin, & Betancourt, 2015; Morin et al., 2009). En estudios de fenología es usado el método de Fournier (1974), siendo reconocido y recomendado por diferentes autores (de Medeiros, Lopes, & Zickel, 2007; Alvarado et al., 2014; Butz et al., 2016; Mariano et al., 2016; Lacerda et al., 2017; Campos et al., 2018).

A pesar de la gran importancia del conocimiento fenológico de las especies, éste aún es muy escaso y fragmentario particularmente en las regiones tropicales.

El propósito de este trabajo es proponer un nuevo método para medir la fenología y plantear un modelo para predecir las fenofases en función de la altura del árbol (A), mes de evaluación (m), temperatura (T) y precipitación (p).

¿Como se hacen las observaciones?

En este estudio se uso como objeto de medición individuos de *Senna spectabilis* (D.C.) H.S. Irwin & Barneby, árbol que ha sido ampliamente promovido y utilizado en sistemas agroforestales en América Latina, Asia y África; esta es la especie usada pionera que se considera un acumulador de nutrientes, las hojas se pueden usar como abono verde (Kwabiah, Stoskopf, Voroney, & Palm, 2001; Partey, Thevathasan, Zougmore, & Preziosi, 2018), con importantes usos medicinales (Jothy et al. 2012) y potencial en la alimentación animal (Anyanwu & Etela, 2013; Bonilla, Pardo, & Castañeda, 2018), fuente de galactomanos del endosperma de la semilla (Pollard, Eder, Fischer, & Windhab, 2010). Es un árbol de crecimiento rápido, tolerante a la sequía y resistente al ataque de termitas, el cual puede crecer como árbol estándar (Namirembe, Brook, & Ong, 2009), y para la leña (Tabuti, Dhillion, & Lye, 2003), utilizado principalmente en paisajismo, debido a la gran belleza de sus flores amarillas, y con un gran potencial para la restauración de áreas degradadas (Silva et al., 2010).

El método Duarte-Hemberg (Duarte, 2019) consiste en la utilización de un marco de 50 cm x 50 cm de área interior (Fig 1.), construido con tubos de pvc, el cual está dividido en cuatro cuadrantes mayores de 100 cuadritos cada uno (se utilizó hilo de nylon para definir los cuadritos e hilo grueso de color para diferenciar los cuadrantes). Cada cuadrante mayor es utilizado para realizar la lectura; este cuadrante mayor

esta a su vez subdividido en cuatro cuadros menores de 25 cuadritos cada uno. Para evaluar la copa de un árbol se mira una de las caras cardinales del árbol y el observador se ubica, a una distancia entre 5 a 6m de distancia del árbol, coloca el marco al frente, divide la copa del árbol en cuatro, de tal manera que los cuatro cuadros menores correspondan a cada cuadrante del árbol (Figura 2.).

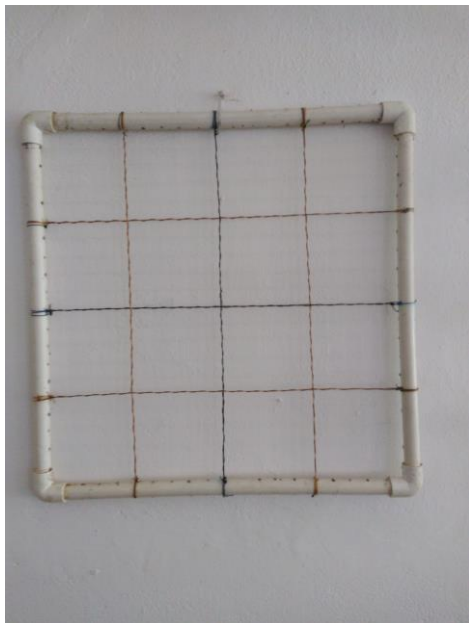


Figura 1. Marco Duarte-Hemberg



Figura 2. Toma de datos en campo con el marco Duarte-Hemberg

Se inicia con el cuadrante superior izquierdo y en función de las manecillas del reloj se evalúa

cada cuadrante (I, II, III, IV) (Fig. 5). Para la medición se observa el área ocupada en el cuadrante por todas las fenofases y luego se determina el número de cuadros que ocupa cada fenofase específica en estudio “el observador debe tener la habilidad de determinar la cantidad de cuadros que podría ocupar espacialmente cada fenofase, al realizar una abstracción mental de la cantidad de área ocupada eliminando los espacios de aire” y con ello se logra medir la proporción del área de presencia de la fenofase, en estudio respecto al área potencial utilizando la tabla Duarterberg (Tabla 8. Fig. 4), esta lectura se hace para las fenofases de hoja totales (*Ht*), brotaduras, frutos 2 y frutos 3, porque son visibles físicamente a la distancia. Las hojas adultas se obtienen de restar las hojas totales de la brotaduras.

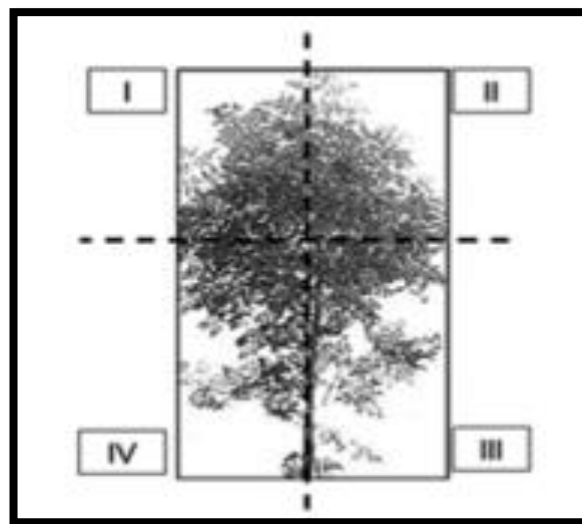


Figura 3. Cuadrantes de copa para la evaluación fenológica de los individuos.

La tabla 8. utiliza una medida que se divide en 25 cuadros, en la escala de medición del eje de la abscisa (x) va del 1 al 25 de izquierda a derecha y corresponde al área ocupada en el cuadrante por todas las fenofases (área potencial) y la ordenada (y) va del 1 al 25 de arriba hacia abajo y corresponde al área de presencia de la fenofase en estudio, de tal forma que el intercepto de las dos medidas corresponde al porcentaje de la proporción correspondiente.

La suma de las intensidades de cada cuadrante dividido por el número de cuadrantes estudiados, da como resultado final de la intensidad fenológica de cada fenofase de cada árbol en estudio.

En *Senna spectabilis* se puede observar con facilidad la terminación de las ramas (Fig. 4), y teniendo en cuenta que las fenofases de botones, floración y frutos 1, representan un área muy pequeña y por ello no se mide con el marco porque subvaloraría estas mediciones, para evitar esto se contabiliza la presencia de la fenofase en cada rama y se divide entre el número de ramas en donde se encuentran en cada cuadrante, y con la ayuda de la escala Duarte-Hemberg se puede obtener el porcentaje de estas fenofases; en algunos casos es necesario el uso de los binoculares para determinar con precisión la fenofase y el conteo respectivo.



Figura 4. Árbol 27 en plena floración



Figura 5. Árbol 27 en plena fructificación

El índice de actividad, o porcentaje de sincronismo (*IA*), se determina por el valor de (1) en caso de presencia y (0) en la ausencia de la fenofase de los individuos. Los registros mensuales de sincronía se expresan en porcentaje utilizando el punto medio de cada clase. El *IA* mensual de sincronía se obtiene al dividir el número de individuos en una determinada fenofase sobre el número de individuos muestreados. El *IA* es considerado asincrónico para valores $< 0,25$, poco sincrónico para valores $0,25-0,5$, sincrónico para valores $0,5-0,75$ y altamente sincrónico para valores $> 0,75$. Para su análisis se realizan los promedios mensuales de sincronía y se evalúa el comportamiento gráfico de la misma y se compara con la intensidad fenológica.

Tabla 8. Escala de medición Duarte-Hemberg, para establecer el porcentaje de presencia de la fenofase

Área ocupada en el cuadrante por todas las fenofases

Fracción	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
1	4.0	4.2	4.3	4.5	4.8	5.0	5.3	5.6	5.9	6.3	6.7	7.1	7.7	8.3	9.1	10.0	11.1	12.5	14.3	16.7	20.0	25.0	33.3	50.0	100	
2	8.0	8.3	8.7	9.1	9.5	10.0	10.5	11.1	11.8	12.5	13.3	14.3	15.4	16.7	18.2	20.0	22.2	25.0	28.6	33.3	40.0	50.0	66.7	100		
3	12.0	12.5	13.0	13.6	14.3	15.0	15.8	16.7	17.6	18.8	20.0	21.4	23.1	25.0	27.3	30.0	33.3	37.5	42.9	50.0	60.0	75.0	100			
4	16.0	16.7	17.4	18.2	19.0	20.0	21.1	22.2	23.5	25.0	26.7	28.6	30.8	33.3	36.4	40.0	44.4	50.0	57.1	66.7	80.0	100				
5	20.0	20.8	21.7	22.7	23.8	25.0	26.3	27.8	29.4	31.3	33.3	35.7	38.5	41.7	45.5	50.0	55.6	62.5	71.4	83.3	100					
6	24.0	25.0	26.1	27.3	28.6	30.0	31.6	33.3	35.3	37.5	40.0	42.9	46.2	50.0	54.5	60.0	66.7	75.0	85.7	100						
7	28.0	29.2	30.4	31.8	33.3	35.0	36.8	38.9	41.2	43.8	46.7	50.0	53.8	58.3	63.6	70.0	77.8	87.5	100							
8	32.0	33.3	34.8	36.4	38.1	40.0	42.1	44.4	47.1	50.0	53.3	57.1	61.5	66.7	72.7	80.0	88.9	100								
10	40.0	41.7	43.5	45.5	47.6	50.0	52.6	55.6	58.8	62.5	66.7	71.4	76.9	83.3	90.9	100										
11	44.0	45.8	47.8	50.0	52.4	55.0	57.9	61.1	64.7	68.8	73.3	78.6	84.6	91.7	100											
12	48.0	50.0	52.2	54.5	57.1	60.0	63.2	66.7	70.6	75.0	80.0	85.7	92.3	100												
13	52.0	54.2	56.5	59.1	61.9	65.0	68.4	72.2	76.5	81.3	86.7	92.9	100													
14	56.0	58.3	60.9	63.6	66.7	70.0	73.7	77.8	82.4	87.5	93.3	100														
15	60.0	62.5	65.2	68.2	71.4	75.0	78.9	83.3	88.2	93.8	100															
16	64.0	66.7	69.6	72.7	76.2	80.0	84.2	88.9	94.1	100																
17	68.0	70.8	73.9	77.3	81.0	85.0	89.5	94.4	100																	
18	72.0	75.0	78.3	81.8	85.7	90.0	94.7	100																		
19	76.0	79.2	82.6	86.4	90.5	95.0	100																			
20	80.0	83.3	87.0	90.9	95.2	100																				
21	84.0	87.5	91.3	95.5	100																					
22	88.0	91.7	95.7	100																						
23	92.0	95.8	100																							
24	96.0	100																								
25	100.0																									

Área de fenofase dentro del cuadrante

Fuente: Duarte (2019).

Conclusión

Como se demuestra en el estudio de Duarte (2019), los métodos de Fournier y Duarte-Hemberg tienen una fuerte correlación positiva, lo que indicaría que el método de Duarte-Hemberg podría usarse como una herramienta alternativa para cuantificar la fenología en *S. spectabilis*.

Agradecimientos

Al proyecto de Innovación y gestión técnico científica para el desarrollo de la cadena ovino caprina del departamento del Tolima INNOVIS, por el apoyo económico, al Laboratorio de silvicultura de la Universidad del Tolima por su direccionamiento técnico y logístico. Al ingeniero Mario Vanegas por facilitar el predio.

Referencias

- Alvarado, S. T., Buisson, E., Rabarison, H., Rajeriarison, C., Birkinshaw, C., Lowry, P. P., & Morellato, L. P. C. (2014). Fire and the reproductive phenology of endangered Madagascar sclerophyllous tapia woodlands. *South African Journal of Botany*, *94*, 79–87. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2014.06.001>
- Anyanwu, N. J., & Etela, I. (2013). Chemical composition and dry matter degradation characteristics of multi-purpose trees and shrubs in the humid lowlands of southeastern Nigeria. *Agroforestry Systems*, *747–754*. <https://doi.org/10.1007/s10457-012-9593-6>
- Ault, T. R., Schwartz, M. D., Zurita-Milla, R., Weltzin, J. F., & Betancourt, J. L. (2015). Trends and natural variability of spring onset in the coterminous united states as evaluated by a new gridded dataset of spring indices. *Journal of Climate*, *28*(21), 8363–8378. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-14-00736.1>
- Bonilla-Trujillo, D., Pardo-Guzman, J. A., & Castañeda-Serrano, R. D. (2018). Senna spectabilis fruit on hair lambas feeding: Digestibility, blood metabolites, and ruminal kinect. *Ciência Animal Brasileira*, *19*(0), 1–11. <https://doi.org/10.1590/1809-6891v19e-49895>
- Butz, P., Raffelsbauer, V., Graefe, S., Peters, T., Cueva, E., Hölscher, D., & Bräuning, A. (2016). Potential Climate Change Indicators. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.11.021>
- Campos, L. Z., Nascimento, A. L. B., Albuquerque, U. P., & Araújo, E. L. (2018). Use of local ecological knowledge as phenology indicator in native food species in the semiarid region of Northeast Brazil. *Ecological Indicators*, *95*(March), 75–84. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.07.016>
- Cunha, M., Ribeiro, H., Costa, P., & Abreu, I. (2015). A comparative study of vineyard phenology and pollen metrics extracted from airborne pollen time series. *Aerobiologia*, *31*(1), 45–56. <https://doi.org/10.1007/s10453-014-9345-3>
- Davis, C. C., Willis, C. G., Primack, R. B., & Miller-Rushing, A. J. (2010). The importance of phylogeny to the study of phenological response to global climate change. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *365*(1555), 3202–3213. <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0130>
- de Medeiros, D. P. W., Lopes, A. V., & Zickel, C. S. (2007). Phenology of woody species in tropical coastal vegetation, northeastern Brazil. *Flora: Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, *202*(7), 513–520. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2006.11.002>
- Duarte, J.H (2019) Fenología, producción y valor nutritivo de los frutos del árbol vainillo [*Senna spectabilis* (DC.) H.S. Irwin & Barneby] en la alimentación de ovinos de

- pelo. Tesis Doctoral. Universidad del Tolima, Ibagué. 198p.
- Fournier L. A. (1974). Un método cuantitativo para la medición de características fenológicas en árboles., *24*(4), 422–423. Retrieved from <https://es.scribd.com/document/52137347/Intensidade-de-Fournier-1974?fbclid=IwAR02duQcHH4kyzeNgMXEefjQMRAZvcgTQoDAk1jScRo24ankVPWjqmNdXDY>
- Jothy, S. L., Torey, A., Darah, I., Choong, Y. S., Saravanan, D., Chen, Y., ... Sasidharan, S. (2012). *Cassia spectabilis* (DC) Irwin et Barn: A promising traditional herb in health improvement. *Molecules*, *17*(9), 10292–10305. <https://doi.org/10.3390/molecules170910292>
- Kwabiah, A. A. B., Stoskopf, N. C., Voroney, R. P., & Palm, C. A. (2001). Nitrogen and Phosphorus Release from Decomposing Leaves under Sub-Humid Tropical Conditions Published by : The Association for Tropical Biology and Conservation Stable URL : <http://www.jstor.org/stable/2663828>. *Biotro*, *33*(2), 229–240.
- Lacerda, D. M. A., de Araújo Barros, J. B. H., de Almeida, E. B., & Rossatto, D. R. (2017). Do conspecific populations exhibit divergent phenological patterns? A study case of widespread savanna species. *Flora: Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, *236–237*(June), 100–106. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2017.10.001>
- Lhermitte, S., Verbesselt, J., Verstraeten, W. W., & Coppin, P. (2011). A comparison of time series similarity measures for classification and change detection of ecosystem dynamics. *Remote Sensing of Environment*, *115*(12), 3129–3152. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.06.020>
- Mariano, G. C., Morellato, L. P. C., Almeida, J., Alberton, B., de Camargo, M. G. G., & Torres, R. da S. (2016). Modeling plant phenology database: Blending near-surface remote phenology with on-the-ground observations. *Ecological Engineering*, *91*, 396–408. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.03.001>
- Morellato, L. P. C. (1992). *Sazonalidade e dinâmica de ecossistemas florestais na Serra do Japi. História natural da Serra do Japi: ecologia e preservação de uma área florestal no Sudeste do Brasil*. Campinas: Universidade Estadual de Campinas.
- Morellato, L. P. C., Talora, D. C., Takahasi, A., Bencke, C. C., Romera, E. C., & Zipparro, V. B. (2000). Phenology of Atlantic Rain Forest Trees: A Comparative Study. *Biotropica*, *32*(4b), 811–823. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2000.tb00620.x>
- Morellato, L. P. C., Alberton, B., Alvarado, S. T., Borges, B., Buisson, E., Camargo, M. G. G., ... Peres, C. A. (2016). Linking plant phenology to conservation biology. *Biological Conservation*, *195*, 60–72. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2015.12.033>
- Morin, X., Lechowicz, M. J., Augspurger, C., O'keefe, J., Viner, D., & Chuine, I. (2009). Leaf phenology in 22 North American tree species during the 21st century. *Global Change Biology*, *15*(4), 961–975. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2008.01735.x>
- Namirembe, S., Brook, R. M., & Ong, C. K. (2009). Manipulating phenology and water relations in *Senna spectabilis* in a water limited environment in Kenya. *Agroforestry Systems*, *75*(3), 197–210. <https://doi.org/10.1007/s10457-008-9169-7>
- Parmesan, C. (2006). Ecological and Evolutionary Responses to Recent Climate Change. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, *37*(1), 637–669. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.37.091305.110100>
- Pollard, M. A., Eder, B., Fischer, P., & Windhab,

- E. J. (2010). Characterization of galactomannans isolated from legume endosperms of Caesalpinioideae and Faboideae subfamilies by multidetection aqueous SEC. *Carbohydrate Polymers*, 79(1), 70–84. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2009.07.028>
- Silva, F. D. O., Ricarte, Í., Oliveira, D., Goretti, M., Silva, D. V., & Braz-filho, R. (2010). Constituintes químicos das folhas de *Senna spectabilis* (DC) Irwin & Barneby var. *excelsa* (Schrad.). *Quim. Nova*, 33(9), 1874–1876. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422010000900010>.
- Tabuti, J. R. S., Dhillon, S. S., & Lye, K. A. (2003). Firewood use in Bulamogi County, Uganda: Species selection, harvesting and consumption patterns. *Biomass and Bioenergy*, 25(6), 581–596. [https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(03\)00052-7](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(03)00052-7)