



Estudio fenológico de las especies forestales *Cedrela odorata* L (*Meliaceae*) y *Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken (*Boraginaceae*) en el municipio de Tumaco, Colombia*

Angie Lizeth Calzada Valencia^a ■ Kevin Daniel Angulo Cabezas^b ■ Samia Del Mar Yela Lara^c ■ Héctor Ramiro Ordoñez Jurado^d

Resumen: la fenología en árboles tropicales permite identificar eventos recurrentes del ciclo de vida en función de variaciones climáticas, factores edáficos y bióticos. La información sobre las fenofases es clave en el diseño de planes de conservación y manejo de especies nativas, para definir las épocas más adecuadas para la recolección de semillas y producción de plántulas. Este artículo pretende identificar las épocas de ocurrencia de los eventos fenológicos (botón floral, flor abierta, frutos verdes, frutos maduros, caída de follaje y brotación foliar) en *Cedrela odorata* L y *Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken, y evaluar la correlación de las fases fenológicas y variables climáticas (precipitación y temperatura). En sistemas agroforestales tradicionales, se identificaron diez individuos para cada especie. Para estos, se realizó el registro mensual de los estados fenológicos durante catorce meses. Para determinar la relación entre variables fenológicas y climáticas, se empleó el coeficiente de correlación de Spearman. En *C. odorata*, algunas de las fenofases como flores abiertas y frutos verdes presentaron correlación positiva con la temperatura, mientras que en *C. alliodora*, la aparición de botones florales y brotación de follaje coincidió con los periodos de mayor temperatura. Esto puede atribuirse a que la temperatura es un factor inductor en la continuidad de las fenofases, y que

* Artículo de investigación financiado por la Vicerrectoría de Investigaciones e Interacción Social de la Universidad de Nariño.

^a Ingeniera agroforestal. Universidad de Nariño, San Andrés de Tumaco, Colombia.

Correo electrónico: lizethvalenxia@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8051-6290>

^b Ingeniero agroforestal. Universidad de Nariño, San Andrés de Tumaco, Colombia.

Correo electrónico: kevinangulosolis@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5884-3893>

^c Ingeniera agroforestal, docente investigador, Universidad de Nariño. Pasto, Colombia.

Correo electrónico: samiadelmar@udenar.edu.co ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6869-1889>

^d Ingeniero forestal, especialista en Ecología con énfasis en Gestión Ambiental, especialista en Docencia Universitaria, magíster en Bosques y conservación ambiental, doctor en Agroecología, docente investigador. Universidad de Nariño, Pasto, Colombia.

Correo electrónico: hectoramiro@hotmail.com.co ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1646-8292>

algunos de los patrones fenológicos de las especies están condicionados por los incrementos en la temperatura. Por lo tanto, la fenología de estas especies tropicales no solo está determinada por la temperatura, sino también por otros factores climáticos, edáficos, bióticos y geográficos.

Palabras clave: árbol; diversidad; fenofases; floración; fructificación; sistema agroforestal

Recibido: 05/02/2021

Aceptado: 11/01/2022

Disponible en línea: 30/06/2023

Cómo citar: A.L. Calzada, K.D. Angulo, S.M. Yela, H.R. Ordoñez, "Estudio fenológico de las especies forestales *Cedrela odorata* L (Meliaceae) y *Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken (Boraginaceae) en el municipio de Tumaco, Colombia", Rev. Fac. Cienc. Básicas, vol. 17, n.º 2, pp. 55-70, jun., 2023, DOI: <https://doi.org/10.18359/rfcb.5606>

Phenological study of the forest species Cedrela Odorata L(Meliaceae) y Cordia alliodora (Ruiz & Pav.) Oken (Boraginaceous) in the municipality of Tumaco, Colombia

Abstract: Phenology in tropical trees allows the identification of recurrent life cycle events based on climatic, edaphic, and biotic variations. Information on phenophases is key in the design of conservation and management plans for native species to define the most suitable times for seed collection and seedling production. This article aims to identify the times of occurrence of phenological events (floral bud, open flower, green fruit, ripe fruit, leaf fall, and leaf sprouting) in *Cedrela Odorata* L and *Cordia Alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken, and to evaluate the correlation of phenological phases with climatic variables (precipitation and temperature). In traditional agroforestry systems, ten individuals were identified for each species. For these, monthly records of phenological states were made for fourteen months. To determine the relationship between phenological and climatic variables, the Spearman correlation coefficient was used. In *C. Odorata*, some of the phenophases, such as open flowers and green fruits, showed a positive correlation with temperature. While in *C. Alliodora*, the appearance of floral buds and leaf sprouting coincided with periods of higher temperatures. This is due to the temperature being an inducing factor in the continuity of phenophases and that some species' phenological patterns are conditioned by temperature increases. Therefore, the phenology of these tropical species is not only determined by temperature but also by other climatic, edaphic, biotic, and geographic factors.

Keywords: tree; diversity; phenophases; flowering; fruiting; agroforestry system.

Estudo fenológico das espécies florestais Cedrela odorata L (Meliaceae) e Cordia alliodora (Ruiz & Pav.) Oken (Boraginaceae) no município de Tumaco, na Colômbia

Resumo: A fenologia em árvores tropicais permite identificar eventos recorrentes do ciclo de vida em função de variações climáticas, fatores edáficos e bióticos. A informação sobre as fenofases é

crucial na criação de planos de conservação e gestão de espécies nativas para definir as épocas mais adequadas para a coleta de sementes e produção de plântulas. Este artigo pretende identificar as épocas de ocorrência dos eventos fenológicos (botão floral, flor aberta, frutos verdes, frutos maduros, queda da folhagem e brotação foliar) na *Cedrela odorata* L e *Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken, e avaliar a correlação entre as fases fenológicas e as variáveis climáticas (precipitação e temperatura). Em sistemas agroflorestais tradicionais, foram identificados dez indivíduos para cada espécie. Para cada um deles, realizou-se o registro mensal dos estados fenológicos durante 14 meses. Para determinar a relação entre variáveis fenológicas e climáticas, empregou-se o coeficiente de correlação de Spearman. Na *C. odorata*, algumas das fenofases, como flores abertas e frutos verdes, apresentaram correlação positiva com a temperatura. Já na *C. alliodora*, o surgimento de botões florais e brotação de folhagem coincidiu com os períodos de maior temperatura. Isso pode ser atribuído ao fato de que a temperatura é um indutor na continuidade das fenofases e que alguns dos padrões fenológicos das espécies estão condicionados aos aumentos de temperatura. Portanto, a fenologia dessas espécies tropicais não é determinada somente pela temperatura, mas também por outros fatores climáticos, edáficos, bióticos e geográficos.

Palavras-chave: árvore; diversidade; fenofases; floração; frutificação; sistema agroflorestal

Introducción

La fenología vegetal es el estudio de eventos recurrentes en el ciclo de vida vegetativo (brotación y caída de hojas) y reproductivo (floración, fructificación y dispersión de semillas), y la influencia de factores climáticos sobre estos [1], [2]. Los estudios fenológicos en árboles tropicales permiten identificar que los eventos pueden ser diferentes de un año a otro entre árboles de una misma población o localidad, altitudinal y latitudinalmente, por la edad y en función de la amplitud de variaciones climáticas y biológicas, e incluso pueden presentarse variaciones en un mismo individuo [3].

El estudio de la fenología de las plantas constituye una herramienta que enriquece el conocimiento de la autoecología de las especies, las adaptaciones ecológicas y sus interacciones [4]. En este sentido, los cambios de las fenofases de las plantas son útiles tanto para la conservación y el manejo adaptativo de las especies, como para las especies de insectos que dependen de ellas [5]. La información sobre el evento fenológico (floración y fructificación) de las especies es de gran relevancia para definir las épocas más adecuadas para la recolección de semillas y producción de plántulas de especies arbóreas nativas en el vivero, que serán empleadas en planes de reforestación, conservación y manejo [2], [6].

El conocimiento de la fenología de las especies puede constituir un excelente indicador en el manejo de agroecosistemas y recursos forestales. La investigación de las fases de los árboles y su relación con factores climáticos son indispensables para los programas de producción de material vegetal [7]. Por ello, las fases fenológicas de las especies pueden resultar afectadas por el cambio o la variabilidad climática en los sistemas naturales, transformados y/o humanos [8]. Los cambios en el ambiente ejercen diferentes presiones en las plantas, e influyen en el desarrollo de cada una de las especies, dando como resultado diversas formas de crecimiento. Por esta razón, es posible identificar diferentes grupos funcionales de plantas que responden de manera similar a los cambios ambientales [9]. Asimismo, es probable encontrar que algunas especies de la floración u otro evento

fenológico son controladas por la temperatura. Mientras que en otras especies la disponibilidad de agua es el factor que desencadena un determinado patrón fenológico [10].

Daru *et al.* [11] reportaron que los eventos fenológicos como la floración en algunas especies leñosas subtropicales del género *Protea* tienen una correlación positiva con la temperatura. Igualmente, en el estudio realizado en los Andes ecuatorianos por Bendix *et al.* [7] se señala que los parámetros meteorológicos como la precipitación, la temperatura y la irradiancia solar están correlacionados con la floración en especies como *Clethra revoluta* (Ruiz & Pav.) Spreng. y *Heliocarpus americanus* L., las cuales presentan picos de floración en los periodos de mayor precipitación. Mientras que en especies como *Cedrela montana* Moritz ex Turcz., *Piptocoma discolor* (Kunth) Pruski, *Purdiaea nutans* Planch, *Tabebuia chrysantha* (Jacq.) G. Nicholson y *Vismia tomentosa* Ruiz & Pav. la aparición de flores está sincronizada con la temperatura.

La presente investigación busca determinar el efecto de las variaciones de los elementos climáticos (temperatura y precipitación) sobre la fenología vegetativa y reproductiva de dos especies forestales presentes en los bosques naturales, de uso común en los agroecosistemas de la costa Pacífica colombiana. Lo anterior, con el objetivo de tener un mejor entendimiento sobre la variación climática del ciclo de vida de estas especies, y así establecer patrones fenológicos imprescindibles para el aprovechamiento y manejo sostenible de especies forestales de importancia económica y ecológica.

Materiales y métodos

Localización

Este estudio se realizó en el municipio de Tumaco, localizado al occidente del departamento de Nariño y suroccidente de Colombia, con coordenadas geográficas 1° 11' 26,90" N y 78° 31' 11,78" W, y elevaciones que varían entre los 0 hasta los 400 m, con una temperatura promedio de 26,2°C y una precipitación promedio de 2.843 mm/año [12]. El municipio de Tumaco forma parte del Chocó

biogeográfico que presenta la mayor biodiversidad vegetal del planeta porque muestra condiciones excepcionales en diversidad de paisajes y comunidades fitosociológicas [13].

Selección de especies

En el municipio de Tumaco, los sistemas productivos tradicionales tienen su propia economía que funciona a pequeña escala y está orientada fundamentalmente al autoabastecimiento de las comunidades [14]. En este sistema, los cultivos de mayor importancia como el coco (*Cocos nucifera* L.), el cacao (*Theobroma cacao* L.), el plátano (*Musa paradisiaca*) y otros árboles frutales, se asocian deliberadamente con especies maderables [15]. Según Ballesteros [16], en las asociaciones agroforestales tradicionales predominan las especies forestales como *C. odorata* y *C. alliodora*, asociadas con *T. cacao*. En ese orden de ideas, para determinar los patrones fenológicos se priorizaron las especies *C. odorata* y *C. alliodora* por su importancia económico-ecológica y su gran potencial agroforestal. Especialmente, se priorizó *C. odorata*, la cual ha sido incluida dentro de la categoría de riesgo en peligro (EN2cd) porque presenta una explotación intensiva [17].

Selección de individuos

Se priorizaron veinte individuos por cada especie, de los cuales se seleccionaron diez de acuerdo a la valoración cualitativa de los siguientes parámetros fenotípicos planteados por Ordoñez *et al.* [18]: forma de fuste, altura de bifurcación, dominancia del eje principal, ángulo de las ramas, forma de la copa y diámetro de la copa. A cada árbol se le asignó un puntaje de acuerdo a cada uno de los parámetros evaluados, seleccionando aquellos con la puntuación más alta. Para la selección de las zonas de estudio, se tuvo en cuenta las siguientes variables planteadas por Gómez [3]: ubicación de las fincas (de fácil acceso para asegurar el mantenimiento y continuidad del estudio), una distancia mínima de 20 m entre los árboles y una alta producción de semillas de acuerdo a los indicios del campesino. Cada árbol fue georreferenciado

en los sistemas agroforestales tradicionales [3], [18].

Fases fenológicas observadas

Se registraron los siguientes estados fenológicos: botones florales, flores abiertas, frutos verdes, frutos maduros, caídas de follaje y brotación foliar [18]. Para la evaluación, se consideraron los siguientes parámetros aplicados por Valdebenito y Prado [19]: botón floral aún no abierto y flor abierta, revisando cuidadosamente un área de 2 m alrededor del árbol para encontrar corolas abiertas y determinar mediante observación el estado fenológico en algunas especies. Para la observación del fruto, el registro se realizó a partir del momento en que el fruto era visible. Este fenómeno comprende frutos verdes (capsula y nuez de color verde en *C. odorata* y *C. alliodora*, respectivamente) y frutos maduros (en *C. odorata* capsulas de color marrón y capsulas abiertas en el árbol suelo, y en *C. alliodora* frutos en el suelo de color marrón). Conocer el patrón de fructificación permitió definir el tiempo más adecuado para la recolección de semillas. Así, la caída de follaje se registró a partir del momento en que se inició la defoliación, continuando la observación hasta su terminación. Mientras que la brotación foliar se registró desde el momento en el que se observaron hojas nuevas y terminó cuando las hojas en la totalidad del árbol alcanzaron su tamaño normal.

Evaluación de fases fenológicas

Para la evaluación de la fenología de las especies, se consideraron los siguientes aspectos [20]:

- Frecuencia de las observaciones: debido a limitantes de transporte por el orden público, la toma de los registros fenológicos se realizó cada mes.
- Registro de las características fenológicas: para la toma de datos se utilizó un par de binoculares y se tomó registro fotográfico. Para una mayor confiabilidad de las observaciones, estas fueron realizadas por una misma persona para tener la misma apreciación en la cuantificación de la magnitud de cada fenofase.

Evaluación de la magnitud de las fases fenológicas

Las fenofases se registraron de acuerdo a la metodología utilizada por Venegas [21], en donde se evaluó cada individuo en una escala de 0 a 4, en intervalos de 25% entre las categorías:

- 0: Ausencia del fenómeno en la copa.
- 1: Presencia del fenómeno en la copa entre 1 y 25%.
- 2: Presencia del fenómeno en la copa entre 26 y 50%.
- 3: Presencia del fenómeno en la copa entre 50 y 75%.
- 4: Presencia del fenómeno en la copa entre 76 y 100%.

Cada mes se observó la copa de cada uno de los árboles y se registraron los porcentajes, determinando la presencia y la magnitud del fenómeno de manera acumulativa. Con los valores de cada fenofase, se determinó la intensidad de la fenofase para cada periodo evaluado mensualmente, empleando el índice de Fournier, según ecuación planteada por Silva *et al.*, [22]:

$$FI = \sum_{i=1}^N \frac{Fi}{4N} \quad (1)$$

Donde:

FI = Índice de Fournier.

Fi = Intensidad de fenofase para cada planta individual en escala de (0-4).

N = Número total de plantas observadas.

Una vez obtenidos los valores resultantes de la ecuación, se realizó la sumatoria de los valores mensuales de todos los individuos y se multiplicó por cien. Esto representa el porcentaje de la intensidad de las fases fenológicas para cada especie.

Análisis de información

El análisis de las características de los eventos fenológicos se realizó mediante gráficos, a partir del

promedio de los porcentajes mensuales de los individuos de cada especie durante el tiempo de estudio (catorce meses).

El análisis de correlación de los datos fenológicos y las variables climáticas (precipitación y temperatura) se desarrolló mediante un diseño de matrices, utilizando el coeficiente de correlación de Spearman, empleando el software SPSS STATICA 7. Los datos correspondientes a las variables climáticas fueron proporcionados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), y corresponden a estaciones meteorológicas presentes en el área de influencia del estudio entre 2018 y 2019. Estos datos se relacionaron con las variables fenológicas (botón floral, flor abierta, frutos verdes, frutos maduros, caída de follaje y brotación foliar).

Resultados y discusión

En *C. odorata*, los patrones fenológicos como botones florales, flores abiertas, frutos verdes, frutos maduros, caída de follaje y brotación foliar se presentaron durante todo el año. El inicio de la floración se caracterizó por la presencia de botones florales, alcanzando su máximo porcentaje en los meses de octubre y noviembre con el 60% y 67,5% de ocurrencia, respectivamente. La floración con presencia de flores abiertas mostró un mayor pico en los meses de marzo (47,5%) y diciembre (42,5%), los cuales corresponden a los meses con mayores temperaturas (27,5°C y 27,3°C) (figura 1). Para frutos verdes y frutos maduros, se mostraron ciclos marcados entre febrero y abril, lo que coincide con el periodo de mayor temperatura (27,5°C y 27,6°C) (figura 2). Por su parte, la caída de follaje alcanzó un mayor pico en el mes de marzo con el 62,5% de ocurrencia, descendiendo en los siguientes meses y presentándose el incremento de brotación foliar desde el mes de diciembre (figura 3). De las diferentes fases fenológicas ninguna se relaciona con los periodos de menor o mayor precipitación.

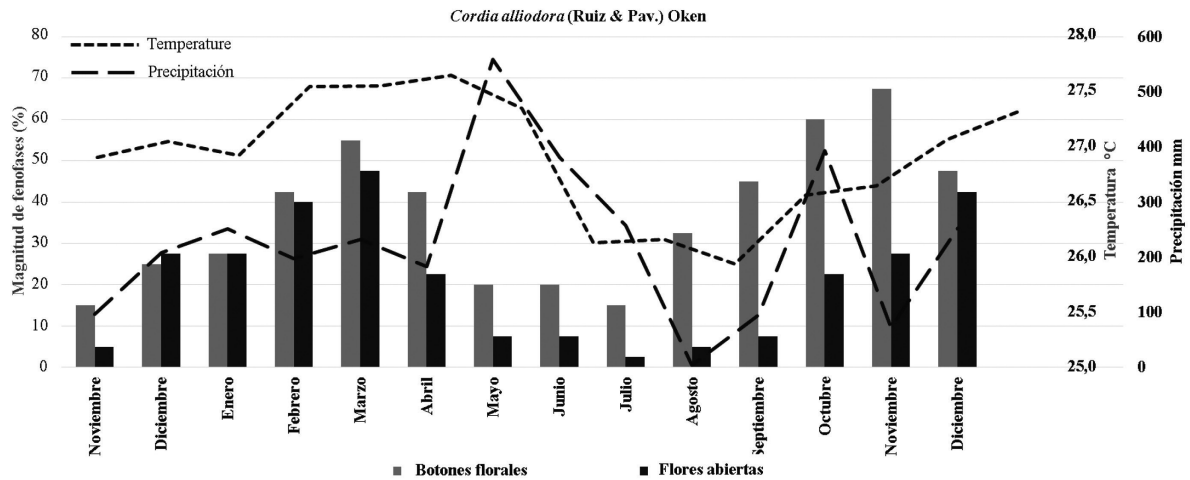


Figura 1. Relación de variables climáticas con botones florales y flores abiertas de *Cedrela odorata* L, evaluados de noviembre 2018 a diciembre de 2019 en el municipio de Tumaco-Nariño.

Fuente: elaboración propia.

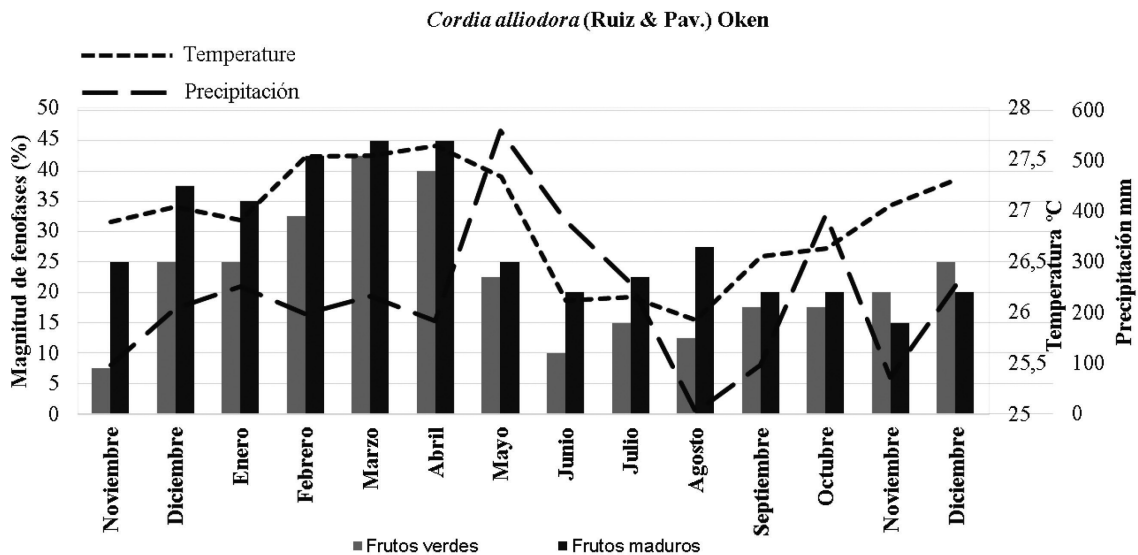


Figura 2. Relación de variables climáticas con frutos verdes y frutos maduros de *Cedrela odorata* L, evaluados de noviembre 2018 a diciembre de 2019 en el municipio de Tumaco-Nariño.

Fuente: elaboración propia.

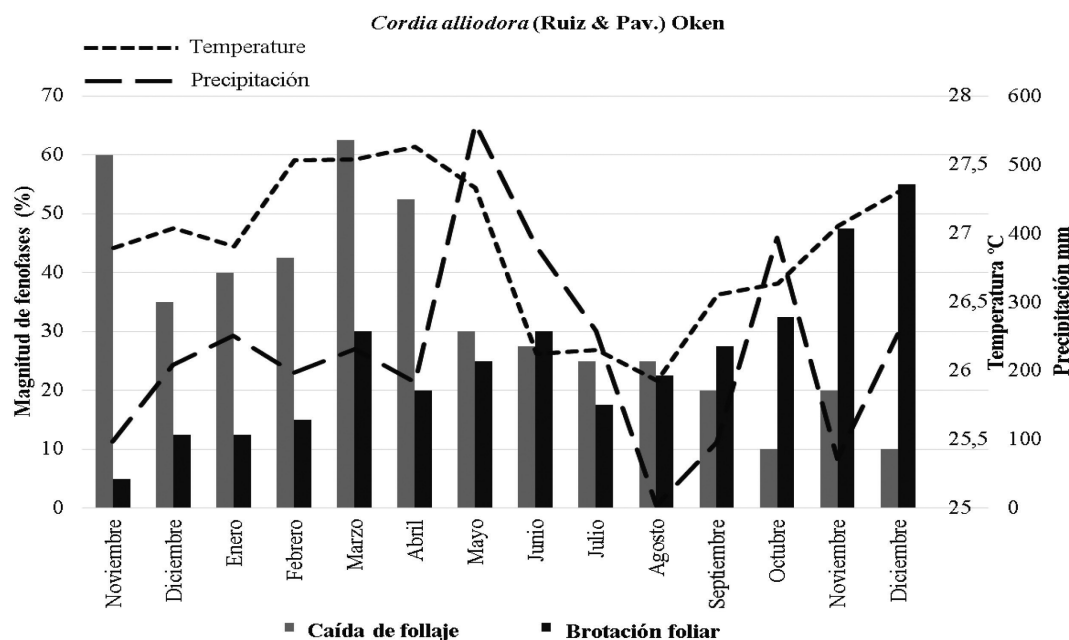


Figura 3. Relación de variables climáticas con caída de follaje y brotación foliar de *Cedrela odorata* L, evaluados de noviembre 2018 a diciembre de 2019 en el municipio de Tumaco-Nariño.

Fuente: elaboración propia.

Conocer la época del año en la cual una mayor cantidad de individuos de una especie exhiben un evento fenológico permite determinar el grado de sincronía como estrategia reproductiva de las especies que aseguran su supervivencia. Además, favorece las interacciones con los polinizadores y depredadores de la semilla [22]. De acuerdo con lo anterior, el Instituto Nacional de Bosques [23], expone que las fenofases de fructificación de *C. odorata* están sincronizadas entre individuos, y se dan en los meses de febrero a mayo. Del mismo modo, Vergara y Meneses [27] reportaron que esta especie produce frutos verdes y maduros durante todo el año, con un mayor porcentaje de aparición hacia el mes de mayo en San José de Guaviare.

Por otra parte, estudios realizados por Rojas y Torres [24], en el Valle Central de Costa Rica, y Farfán [25], en zonas cafetaleras de Colombia, establecieron que la especie *C. odorata* presenta frutos maduros entre enero y abril, siendo este el momento propicio para recolectar las semillas. Al respecto, López y Montero [26], señalaron que en el Chocó *C. odorata* presentó una alta sincronía

en la fructificación entre los meses de enero y marzo. Mientras que Urrego y Del Valle [2] encontraron que la producción de frutos es baja entre mayo y noviembre.

Según los datos fenológicos registrados durante cuatro años (1982-1986) por CONIF [28], en la estación La Espriella del municipio de Tumaco la época de floración de *C. odorata* corresponde al periodo de abril y mayo. Esta disminuye notoriamente el resto del año. En tanto que la fructificación es baja en los primeros meses del año, presentándose frutos débiles en el mes de noviembre, la brotación foliar aumenta en el segundo trimestre del año.

En relación a la caída de follaje y brotación foliar, estas son continuas durante el año y se acentúan al terminar la época lluviosa de mayo a julio en San José de Guaviare [27]. En bosque seco tropical, la caída del follaje se inicia en enero y finaliza en abril, periodo de menor precipitación. De forma inmediata, se inicia el proceso de rebrote del follaje, el cual se concentra entre los meses de mayo y junio, aunque continúa a lo largo del año en menor escala [29].

En *C. alliodora*, las fases fenológicas evaluadas se exhibieron durante todo el año. Para botones florales, en febrero se presentó el primer pico con una ocurrencia del 57,5%, y en diciembre el segundo con un 67,5%. Estos porcentajes se relacionan con los valores más altos de temperatura. La floración en su estado de flor abierta alcanzó su máximo valor en el mes de febrero, con un 55% de magnitud a temperaturas de 27,5°C. Por ello, se esperaría un segundo pico entre los meses de

abril y mayo, sin embargo, se observó que no todos los individuos evaluados exhibieron la fase en la misma magnitud. Adicionalmente, en el mes de mayo se presentaron los niveles más altos de precipitación con 559,3 mm (figura 4). Al respecto, Avila y Buitrago [30] señalaron en su investigación que en especies del género *Persea* el exceso de precipitación durante la floración y la fructificación reduce la producción y provoca la caída de flores y frutos.

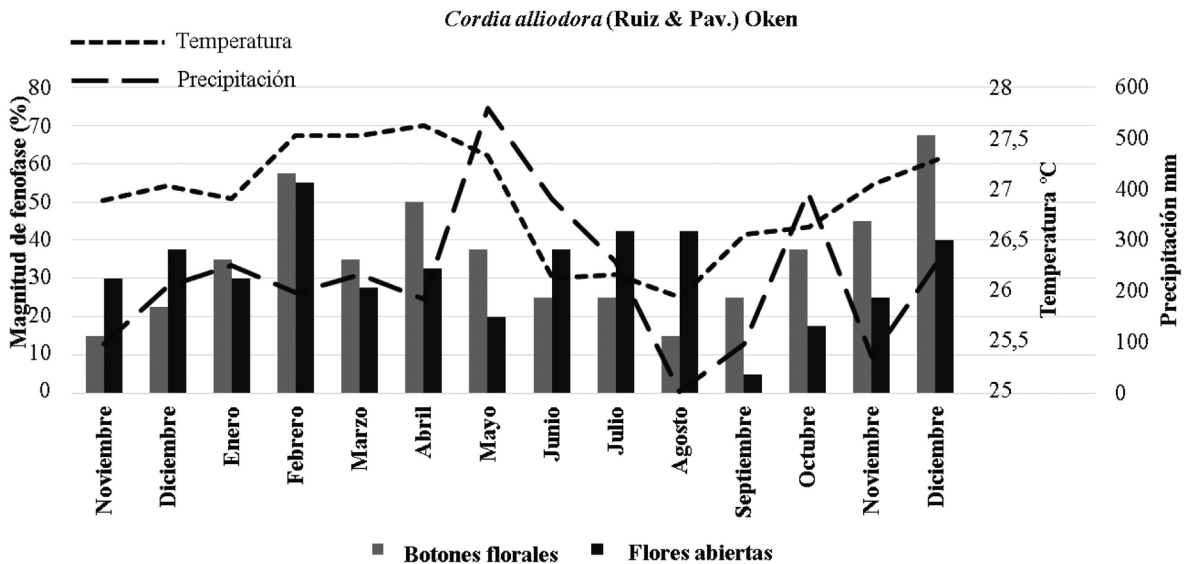


Figura 4. Relación de variables climáticas con botones florales y flores abiertas de *Cordia alliodora*, evaluados de noviembre 2018 a diciembre de 2019 en el municipio de Tumaco-Nariño.

Fuente: elaboración propia.

El periodo de mayor presencia de frutos verdes ocurrió entre julio y agosto. Mientras que el de frutos maduros ocurrió en julio con una magnitud del 55%, empezando a descender en agosto (figura 5). Según Gómez *et al.* [31], el desarrollo y madurez de los frutos es rápido, puesto que el ciclo tarda entre uno y dos meses, aunque la cantidad de frutos que se alcanza a formar después de cada floración es baja. En ese orden de ideas, esta especie presenta una baja proporción

de frutos maduros con respecto a los frutos verdes, y las causas de este fenómeno podrían ser numerosas [2].

En las fenofases vegetativas, las curvas de caída de follaje y brotación foliar mostraron una tendencia contraria entre los dos fenómenos. De noviembre a julio se caracterizaron por presentar la mayor intensidad de caída de follaje, y a partir de julio empezaron a tener la mayor aparición de nuevas hojas (figura 6).

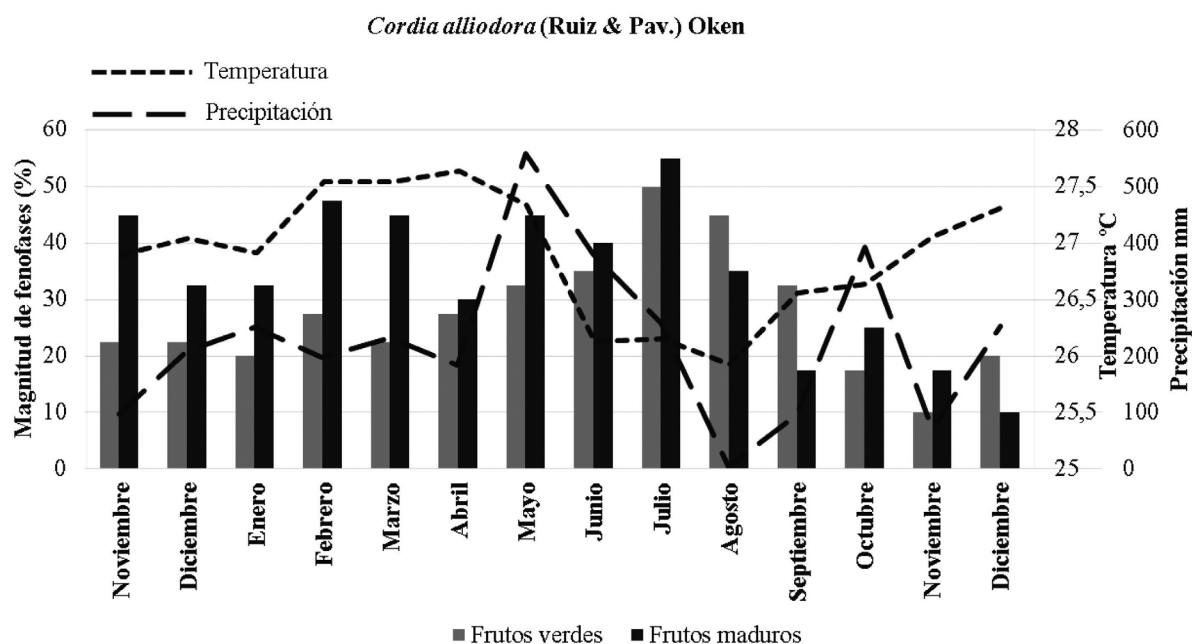


Figura 5. Relación de variables climáticas con frutos verdes y frutos maduros de *Cordia alliodora*, evaluados de noviembre 2018 a diciembre de 2019 en el municipio de Tumaco-Nariño.

Fuente: elaboración propia.

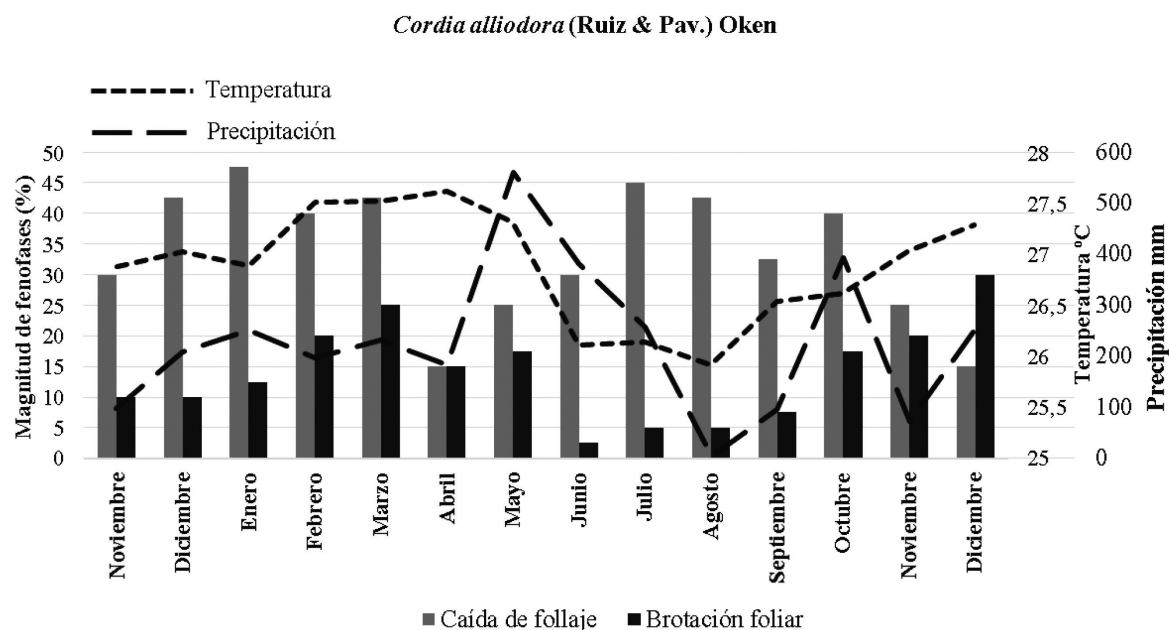


Figura 6. Relación de variables climáticas con caída de follaje y brotación foliar de *Cordia alliodora*, evaluados de noviembre 2018 a diciembre de 2019 en el municipio de Tumaco-Nariño.

Fuente: elaboración propia.

La especie *C. alliodora* brinda la posibilidad de encontrar en un mismo individuo botones florales, flores abiertas, frutos verdes y maduros, con diferentes periodos de intensidad. Al respecto, el CONIF [28] reportó que esta especie florece, fructifica y permanece con follaje durante todo el año, presentando un incremento de botones florales en la época de mayor precipitación, una mayor producción de frutos maduros al iniciar la época seca y un aumento de la caída del follaje durante los meses de septiembre y noviembre.

Las especies *C. odorata* y *C. alliodora* exhiben las diferentes fenofases continuamente durante todo el año con diferente magnitud. Para la fenofase de floración, Newstrom *et al.* [32] afirman que algunas especies florecen con más frecuencia en el bosque húmedo tropical de tierras bajas que en seco tropical. Al respecto, Urrego y Del Valle [2] señalan que las especies con frutos garantizan, la mayor parte del año, que se pueda hacer la recolección de semillas para emplearse en la repoblación forestal, el enriquecimiento y la restauración de ecosistemas. Además, estas también garantizan la disponibilidad de alimento para polinizadores y dispersores de semillas. La polinización y la floración tienen una relación bidireccional, el tiempo de floración afecta la dinámica de la población de los polinizadores, en tanto que la actividad de los polinizadores influye en el éxito reproductivo de las plantas, los patrones de apareamiento y el flujo de genes [32]. Según, Devia *et al.* [33] y Ospina [34], estos dos maderables son especies melíferas. Particularmente, las flores de *C. alliodora* son visitadas por muchos insectos y aves en el municipio de Río Frío- Valle del Cauca (Colombia) [35], y su fruto es alimento para *Cuniculus paca* Brisson y aves de género *Poicephalus* en Ecuador [36].

De acuerdo con las pruebas estadísticas realizadas, empleando el coeficiente de correlación de Spearman, las fenofases de las dos especies evaluadas no presentaron correlación estadística con los niveles de precipitación, pero sí existe una correlación con la temperatura en procesos fenológicos como flor abierta y fruto verde para *C. odorata*; y botones, flores y brotación foliar para *C. alliodora*. Los resultados difieren de los reportados por el

CONIF [28] en la estación La Espriella (Tumaco), donde la época de ocurrencia de la floración, la fructificación y la caída de follaje se relacionan con los periodos de mayor precipitación.

En la tabla 1, se muestra cómo la ocurrencia de flores abiertas y frutos verdes tuvieron correlación positiva con los niveles de temperatura ($r = 0,690$, $p = 0,006$ & $r = 0,850$, $p = 0$ respectivamente) para *C. odorata*. Estos eventos fenológicos se incrementaron con el aumento de la variable climática. Durante los meses de marzo y abril, se presentaron los mayores picos de temperatura, y en estos hubo un incremento en la aparición de flores abiertas y frutos verdes. Según Urrego y del Valle [2], para la caída de follaje también se asocian los periodos con altos valores de brillo solar y precipitaciones medias a bajas. Estos resultados difieren de los reportados por Gómez y Toro [29] y Gómez [37], donde la floración y fructificación coincidió con la época de lluvias, y la caída de follaje con las temporadas secas del año.

En *C. alliodora*, la ocurrencia de botones florales y la brotación foliar tuvieron una correlación positiva con la temperatura ($r = 0,697$, $p = 0,006$; $r = 0,794$, $p = 0,001$). El pico más alto de botones florales y brotación se presentó en el mes de diciembre (67% y 30%, respectivamente), coincidiendo con el aumento de la temperatura. Según Cervera *et al.* [38], la floración coincide con la época seca para el valle cálido del Magdalena (Espinal-Tolima, Colombia).

La floración de especies tropicales está determinada no solo por factores climáticos, sino también por factores edáficos, bióticos, geográficos, etc. [3], [39]. Del mismo modo, se puede observar que cada especie presenta un patrón propio, por lo cual, para comprender la correlación de las especies con los factores ambientales que regulan el inicio y el final de sus fases fenológicas, son necesarios estudios más detallados para las especies de interés [40].

Como se evidenció en la investigación de Ochoa *et al.* [41], la floración y fructificación de las especies pertenecientes a las familias *Rubiaceae* (7 especies), *Fabaceae* (6), *Meliaceae* (5), *Moraceae* (5) y *Sapotaceae* (5) y *Anacardiaceae* (4), *Euphorbiaceae* (4) y *Lauraceae* (4) del bosque tropical de Tenosique

en Tabasco (México) no se correlacionaron significativamente con la precipitación. Razón por la que los árboles florecen y dan frutos todo el año, con incrementos estacionales de ambos fenómenos fenológicos en los periodos más secos. Asimismo, en el estudio de Cifuentes *et al.* [42] no se encontraron

correlaciones significativas entre la precipitación y las fenofases para *Oenocarpus bataua* (Mart.) en bosques inundables del Chocó biogeográfico colombiano, donde la ocurrencia de los eventos fenológicos puede estar relacionada con factores endógenos y/o relaciones de tipo ecológico-evolutivo.

Tabla 1. Coeficientes de correlación de spearman (r) y significancia (p) con variables fenológicas y climáticas de dos especies forestales en agroecosistemas de Tumaco (Colombia).

Especie	Fenofase	Precipitación		Temperatura	
		r	p	r	p
<i>Cedrela odorata</i> L.	Botones florales	-0,227	0,435	0,34	-0,234
	Flor abierta	0,044	0,88	0,690**	0,006
	Fruto verde	0,046	0,875	0,850**	0,046
	Fruto maduro	-0,125	0,671	0,501	0,068
	Caída de follaje	-0,135	0,647	0,462	0,096
	Brotación foliar	-0,024	0,934	-0,035	0,904
<i>Cordia alliodora</i> (Ruiz & Pav.) Oken	Botones florales	0,244	0,401	0,697**	0,006
	Flor abierta	-0,086	0,77	-0,053	0,857
	Fruto verde	0,018	0,952	-0,384	0,176
	Fruto maduro	0,221	0,447	-0,027	0,928
	Caída de follaje	0,029	0,922	-0,415	0,14
	Brotación foliar	0,099	0,735	0,794**	0,001

Fuente: elaboración propia.

Nota: (*) La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral). (**) La correlación es significativa en el nivel 0,01(bilateral).

Algunas de las fenofases presentaron correlación con la temperatura. Esto puede atribuirse a que la temperatura es un factor inductor en la continuidad de las fenofases [43], [44]. Al respecto, estudios realizados por Ruiz y Alencar [45] y Bertossi *et al.* [46] han demostrado que algunas variables fenológicas en especies como *Oenocarpus bataua* Martius y *Populus* sp. están correlacionadas con la temperatura.

Según Gastaudo [47], algunas fenofases están controladas por la temperatura, como la fructificación en *Erythrina crista-galli* L. Para floración, Bendix *et al.* [7] muestran que especies como *Iseritia laevis* (Triana) B.M. Boom y *Clethra revoluta* (Ruiz & Pav.) Spreng. tienen una correlación con la irradiancia solar y la temperatura, cuando el

inicio de la floración de las dos especies está relacionado con el máximo de irradiancia solar. Asimismo, Daru *et al.* [11] reporta que la floración en algunas especies cambia con el aumento de temperatura, mientras que la variación de la precipitación no tiene ningún efecto significativo en esta fase.

Agradecimientos

Agradecemos a la VIIS (Vicerrectoría de Investigaciones e Interacción Social) de la Universidad de Nariño por proporcionar el financiamiento para esta investigación, y a los agricultores locales por permitir el ingreso y acompañamiento a sus predios para el registro de información.

Conflicto de intereses

Los autores no tuvieron ningún conflicto de intereses para la publicación de la investigación.

Referencias

- [1]. J. Morissette, A. Richardson, A. Knapp *et al.*, “Tracking the rhythm of the seasons in the face of global change: phenological research in the 21st century”, *Frontiers in Ecology and the Environment*, vol. 7, no. 5, pp. 253-260, 2009. doi: <https://doi.org/10.1890/070217>
- [2]. L. Urrego y J. Del Valle, “Relación fenología-clima de algunas especies de los humedales forestales (Guanadales) del Pacífico sur colombiano”, *Interciencia*, vol. 26, no. 4, pp. 150-156, 2001.
- [3]. L. Gómez, *Fenología reproductiva de especies forestales nativas presentes en la jurisdicción de Corantioquia, un paso hacia su conservación*. Medellín, Colombia: Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia-Corantioquia, 2010.
- [4]. J. Woukoue, V. Nguetsop, G. Anjah *et al.*, “Phenological behaviour of tropical tree species in three altitudinal zones of Bambouto mountains”, *West Cameroon. Journal of Applied Sciences*, vol. 19, no. 2, pp. 68-76, 2019. doi: <https://doi.org/10.3923/jas.2019.68.76>
- [5]. J. Kallarackal y R. Renuka, “Phenological implications for the conservation of forest trees”, en *Plant reproductive biology and conservation*, R. Kapoor, M. Koul y I. Kaur. Nueva Delhi: I.K. International Publishing House, 2014, pp. 90-109.
- [6]. E. Sulistyawati, N. Mashita, N. Setiawan *et al.*, “Flowering and fruiting phenology of tree species in Mount Papandayan Nature Reserve, West Java, Indonesia”, *Tropical Life Sciences Research*, vol. 23, no. 2, pp. 81-95, 2012.
- [7]. J. Bendix, J. Homeier, E. Cueva *et al.*, “Seasonality of weather and tree phenology in a tropical evergreen mountain rain forest”, *International Journal of Biometeorology*, vol. 50, no. 6, pp. 370-384, 2006. doi: <https://doi.org/10.1007/s00484-006-0029-8>
- [8]. L. Villers, N. Arizpe, R. Orellana *et al.*, “Impactos del cambio climático en la floración y desarrollo del fruto del café en Veracruz, México”, *Interciencia*, vol. 34, no. 5, 2009. Disponible en: http://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S0378-18442009000500006&script=sci_arttext
- [9]. B. Vazquez, (2011). “Fenología”. [Internet]. Disponible en: http://globeArgentina.org/guia_del_maestro_web/fenologia/fenologiaweb.pdf
- [10]. M. Alvarado, R. Foroughbakhch, E. Jurado *et al.*, “El cambio climático y la fenología de las plantas”, *Revista Ciencia UANL*, vol. 4, pp. 493-500, 2002.
- [11]. B. Daru, M. Kling, E. Meineke *et al.*, “Temperature controls phenology in continuously flowering Protea species of subtropical Africa”, *Applications in Plant Sciences*, vol. 7, no. 3, 2019. doi: <https://doi.org/10.1002/aps3.1232>
- [12]. Alcaldía Municipal de Tumaco, “Plan de ordenamiento territorial del municipio de Tumaco 2008–2019. Alcaldía Municipal de Tumaco, Colombia, Libro blanco, 2008. Disponible en: https://sanandresdetumaconarino.micolombiadigital.gov.co/sites/sanandresdetumaconarino/content/files/000022/1088_pot_2008_2019.pdf
- [13]. E. Otero, L. Mosquera, G. Silva *et al.* (2009). *El Chocó biogeográfico de Colombia*. [En línea]. Disponible en: <https://www.imeditores.com/banocc/choco/credit.htm>
- [14]. Biopacífico, *Proyecto para la conservación de la biodiversidad del Chocó biogeográfico: Economía de las comunidades rurales en el Pacífico colombiano*. Quibdó: PNUD-FEG, 1998.
- [15]. N. Angulo, *Evaluación de los sistemas productivos de los ríos Mejicano, Gualajo, Tablones, Rosario y Chagui, municipio de Tumaco*. Pasto, Colombia: Universidad de Nariño, 1992.
- [16]. W. Ballesteros, O. Saya y H. Ordoñez, “Caracterización de sistemas agroforestales en el Consejo Comunitario Bajo Mira y Frontera”, *Agroforestería En Las Américas*, vol. 46, pp. 73-80, 2008.
- [17]. S. Cárdenas y N. Salinas, *Libro rojo de plantas de Colombia*, vol. 4. Leticia, Amazonas: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas, 2007.
- [18]. L. Ordoñez, M. Arbeláez y L. Prado, *Manejo de semillas forestales nativas de la sierra del Ecuador y norte del Perú*. Quito, Ecuador: EcoPar, 2004.
- [19]. H. Valdebenito y L. Prado, *Contribución a la fenología de especies forestales nativas andinas de Bolivia y Ecuador*. Quito, Ecuador: Cámara Ecuatoriana del Libro-Núcleo de Pichincha, 2000.
- [20]. S. López y G. Rosales, *Estudio fenológico de diez especies forestales nativas en la Isla la Corota, corregimiento del Encano, municipio de Pasto, Nariño*. Pasto, Colombia: Universidad de Nariño, 2002.

- [21]. L. Venegas, (1976). "Metodología para Observaciones Fenológicas". [Internet]. Disponible en: http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/003138/Metodologia_fenologicas.pdf
- [22]. E. Fuchs, J. Lobo y M. Quesada, "Effects of forest fragmentation and flowering phenology on the reproductive success and mating patterns of the tropical dry forest tree *Pachira quinata*", *Conservation Biology*, vol. 17, no. 1, pp. 149-157, 2003. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2003.01140.x>
- [23]. Instituto Nacional de Bosques, *Cedro Cedrela odorata; paquete tecnológico forestal*. Ciudad de Guatemala: Instituto Nacional de Bosques, 2017.
- [24]. F. Rojas y G. Torres, "Árboles del Valle Central de Costa Rica: reproducción Cedro amargo (*Cedrela odorata* L.)", *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, vol. 11, no. 26, pp. 25-27, 2013. doi: <https://doi.org/https://doi.org/10.18845/rfmk.v11i26.1593>
- [25]. F. Farfán. (2012). *Arboles con potencial para ser incorporados en sistemas agroforestales con café*. [En línea]. Disponible en: <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/746/1/lib37949.pdf>
- [26]. R. López y M. Montero. (2005). *Manual de identificación de especies forestales con manejo certificable por comunidades*. [En línea]. Disponible en: https://sinchi.org.co/files/publicaciones/publicaciones/pdf/Manual_identificacion.pdf
- [27]. D. Vergara y O. Meneses, "Cedrela odorata L", en *Planes de manejo para la conservación de 22 especies locales de plantas en departamentos del Valle del Cauca, Cali, Colombia*. Cali, Colombia: Fundación Agua Viva, 2011, pp. 232-242.
- [28]. Corporación Nacional De Investigación y Fomento Forestal, *Investigación forestal del pacifico colombiano*. Medellín, Colombia: CONIF, 1996.
- [29]. M. Gómez y J. Toro, *Manejo de las semillas y la propagación de diez especies forestales del bosque seco tropical*. Medellín, Colombia: Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia, 2008.
- [30]. J. Ávila y L. Buitrago, (2020). "Sistemas agropecuarios sostenibles, biodiversidad y servicios ecosistémicos". [Internet]. Disponible en: http://www.andi.com.co/Uploads/WCS_Modulo_1_Referentes_para_Colombia.pdf
- [31]. M. Gómez, J. Lazaro y E. Piedrahita, *Propagación y conservación de especies arbóreas nativas*. Medellín, Colombia: Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia, 2013.
- [32]. C. A. Devia, A. M. Moncaleano y L. M. Niño, *Flora del bosque seco de los Archipiélagos Islas del Rosario y San Bernardo*. Cartagena, Colombia: INCODER y Universidad Jorge Tadeo Lozano, 2014.
- [33]. L. E. Newstrom, G. W. Frankie, H. G. Baker *et al.*, "Diversity of long-term flowering patterns", en *La selva, ecology and natural history of a neotropical rain forest*, L. A. McDade, K. S. Bawa, H. A. Hespenheide *et al.* (eds.), Chicago, EE. UU.: University of Chicago Press, 1994, pp. 161-182.
- [34]. C. Ospina, *Establecimiento, manejo y aprovechamiento de plantaciones forestales. Proyecto: selección de árboles y promoción de actividades forestales con Nogal Cafetero y Guayacán Rosado*. Pereira, Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira, 2008.
- [35]. B. Hoyos, "Aporte a la conectividad agroecológica de un área estratégica de conservación en el municipio de Riofrío-Valle del Cauca", Tesis de grado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia, 2019. Disponible en: <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/25312/%20%09behoyose.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [36]. L. de la Torre, L. H. Navarrete, P. Muriel *et al.*, *Enciclopedia de las plantas útiles del Ecuador*. Quito, Ecuador: Herbario QCA de la Escuela de Ciencias Biológicas de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador y Herbario AAU del Departamento de Ciencias Biológicas de la Universidad de Aarhus, 2008.
- [37]. M. Gómez, *Estudio fenológico de 25 especies forestales en la jurisdicción de Corantioquia*. Medellín, Colombia: Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia, 2003.
- [38]. D. Cervera, A. Castaño, J. Zuluaga *et al.*, *Estudio de las fases fenológicas de Cordia alliodora (Ruiz & Pav.) en el valle cálido del Magdalena, Espinal Tolima-Colombia*. Mosquera, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, 2019.
- [39]. R. Borchert, "Phenology and control of flowering in tropical trees", *Biotropica*, vol. 12, no. 2, pp. 81-89, 1983. <https://doi.org/10.2307/2387949>
- [40]. B. Vilchez, R. Chazdon y Á. Redondo, "Fenología reproductiva de cinco especies forestales del Bosque Secundario Tropical", *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, vol. 1, no. 2, pp. 1-10, 2004.
- [41]. S. Ochoa, I. Pérez y B. Jong, "Fenología reproductiva de las especies arbóreas del bosque tropical de Tenosique, Tabasco, México", *Revista de Biología Tropical*, vol. 56, no. 2, pp. 657-673, 2006.
- [42]. L. Cifuentes, F. Moreno y A. Arango, "Fenología reproductiva y productividad de *Oenocarpus bataua* (Mart.) en bosques inundables del Chocó Biogeográfico, Colombia", *Biota Neotropica*, vol. 10, no. 4,

- pp. 101-109, 2010. doi: <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1590/S1676-06032010000400014>
- [43]. E. Locatelli, (2003). “Fenologia e relações abelhas/ plantas em uma comunidade de mata serrana (brejo de altitude) no nordeste do Brasil”. [Internet]. Disponible en: https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/562/1/arquivo4651_1.pdf
- [44]. L. Morellato, D. Talora, A. Takahasi *et al.*, “Phenology of Atlantic rain forest trees: a comparative study”, *Biotropica*, vol. 32, no. 4b, pp 811-823, 2000. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2000.tb00620.x>
- [45]. R. Ruiz y J. Alencar, “Comportamento fenológico da palmeira pataua (*Oenocarpus bataua*) na reserva florestal Adolpho Ducke, Manaus, Amazonas, Brasil”, *Acta Amazónica*, vol. 34, no. 4, pp. 553-558, 2004. doi: <https://doi.org/10.1590/S0044-59672004000400007>
- [46]. M. Bertossi, A. Prieto y S. Rumene, “Resultados preliminares de los estudios fenológicos de *Populus* sp. en el Valle de San Cabao (Nor-Oeste de la Patagonia, Argentina)”, presentada en Tercer Congreso Internacional de Salicáceas, Neuquén-Argentina, 2011.
- [47]. J. Gastauto, “Fenología de dos especies arbóreas nativas implantadas en el Parque Villarino de la Facultad de Ciencias Agrarias-UNR (Argentina)”, Tesis de grado, Universidad Nacional de Rosario, 2017. Disponible en: <https://rehip.unr.edu.ar/bitstream/handle/2133/12169/TESINA%20GASTAUDO.pdf?sequence=3&isAllowed=y>