

Fenología vegetativa y reproductiva de *Cinchona micrantha* (Rubiaceae) en un bosque húmedo de Jaén, Perú

Vegetative and reproductive phenology of *Cinchona micrantha* (Rubiaceae) in a humid forest in Jaen, Peru

Franklin H. Fernandez ^{1*}, Annick E. Huaccha ¹

- Recibido: 17/Jun/2020
- Aceptado: 12/Oct/2021
- Publicación en línea: 19/Oct/2021

Citación: Fernandez FH, Huaccha AE. 2022. Fenología vegetativa y reproductiva de *Cinchona micrantha* (Rubiaceae) en un bosque húmedo de Jaén, Perú. *Caldasia* 44(3):459-468. doi: <https://doi.org/10.15446/caldasia.v44n3.88298>

ABSTRACT

Cinchona micrantha, commonly known as cinchona tree, is a species with high medicinal value that became popular for its antimalarial use and febrifuge properties and is currently listed as a threatened species. The objective of this research was to study the phenological behavior of *C. micrantha* in a humid forest of the community La Cascarilla, Jaén, Peru, from January to December 2018. For this purpose, 35 trees were randomly selected. Phenological characterization was carried out monthly, to record vegetative biological variables such as new leaves, mature leaves, and leaf abscission; reproductive variables were also studied such as flowering, presence of immature fruits, mature fruits, and dehiscent fruits. These data were correlated with records of precipitation, temperature and photoperiod of the study area. New leaves, mature leaves, and leaf abscission were evidenced throughout the year. There is a negative correlation between flowering and immature fruit phenophases with photoperiod ($r_s = -0.85$, $P = 0.02$ and $r_s = -0.91$, $P = 0.01$ respectively), and a negative correlation between mature fruit phenophase with precipitation and minimum temperature ($r_s = -0.61$, $P = 0.04$ and $r_s = -0.60$, $P = 0.05$ respectively). The results suggest that temperature, precipitation, and photoperiod could determine the reproductive phenology of *C. micrantha*, however, this pattern was not observed in the vegetative phenology because it is an evergreen species. The phenological variations observed are relevant for the conservation of the species.

Keywords: Cinchona tree, leaf production, flowering, fruiting.

¹ Universidad Nacional de Jaén. Ingeniería Forestal y Ambiental, Jirón Cuzco N° 250, Jaén, Perú. fran.9615fernandez@gmail.com*, annick_huaccha@unj.edu.pe

* Autor para correspondencia.



RESUMEN

Cinchona micrantha, conocida comúnmente como árbol de la quina, es una especie con alto valor medicinal que se popularizó por su uso antimalárico y propiedades febrífugas y que en la actualidad se encuentra catalogada como especie amenazada. El objetivo de esta investigación fue estudiar el comportamiento fenológico de *C. micrantha* en un bosque húmedo de la comunidad La Cascarilla, Jaén, Perú, de enero a diciembre de 2018. Para ello se eligieron al azar 35 árboles. La caracterización fenológica se realizó mensualmente, se registraron datos de las variables biológicas vegetativas como hojas nuevas, hojas maduras y abscisión foliar, y reproductivas como floración, presencia de frutos inmaduros, frutos maduros y frutos dehiscentes, y se correlacionaron con datos de precipitación, temperatura y fotoperiodo de la zona de estudio. Se evidenciaron hojas nuevas, hojas maduras y abscisión foliar todo el año. Existe una correlación negativa entre las fenofases de floración y de fruto inmaduro con el fotoperiodo ($r_s = -0,85$, $P = 0,02$ y $r_s = -0,91$, $P = 0,01$ respectivamente), y una correlación negativa entre la fenofase de fruto maduro con la precipitación y temperatura mínima ($r_s = -0,61$, $P = 0,04$ y $r_s = -0,60$, $P = 0,05$ respectivamente). Los resultados sugieren que la temperatura, precipitación y fotoperiodo podrían determinar la fenología reproductiva de *C. micrantha*, sin embargo, este patrón no se observó en la fenología vegetativa debido a que es una especie perennifolia. Estas variaciones fenológicas son relevantes para la conservación de la especie.

Palabras clave: Árbol de la quina, producción de hojas, floración, fructificación.

INTRODUCCIÓN

Perú se considera un país megadiverso por la variedad de ecosistemas, de especies de flora y fauna y por sus recursos genéticos y culturales (Córdova y Moquillaza 2001, Fajardo *et al.* 2014). En el país se destaca la presencia de plantas de importancia alimenticia y medicinal (De-la-Cruz *et al.* 2007, Oblitas *et al.* 2013). Tal es el caso de los árboles del género *Cinchona* como *C. calisaya* Wedd., *C. officinalis* L., *C. pubescens* Vahl y *C. micrantha* Ruiz y Pav., cuya corteza contiene alcaloides de quinina, especialmente: quinina, quinidina, cinchonina y cinchonidina, los cuales se utilizaron por más de tres siglos como único tratamiento efectivo contra la malaria, igualmente para las arritmias cardíacas, resfriados, fibrilación auricular, tónico eupéptico, catarros y como tónico capilar (García-Barriga 1975, Kaufman y Rúveda 2005, Loayza-O *et al.* 2010).

Cinchona micrantha fue utilizada durante siglos y sus cortezas fueron exportadas a muchas partes del mundo, pero no se tiene información detallada sobre el impacto que trajo la extracción de corteza de los árboles en las poblaciones de esta especie (Zevallos y Percy 1989). Al igual que otras regiones neotropicales, los bosques andinos con especies de *Cinchona* han estado sujetos a una enorme pre-

sión antropogénica en los últimos 350 años (López 2016), en concreto, los árboles que quedan de *C. micrantha* fueron dejados después de la conversión del bosque en tierras agrícolas (Zevallos y Percy 1989). Por lo que, es importante conocer aspectos de la biología de esta especie, como su fenología, para poder generar planes de manejo y conservación.

Conocer el comportamiento fenológico de las plantas permite monitorear, comprender y predecir el momento de los eventos biológicos recurrentes relacionados con el clima, como la presencia de hojas, flores, frutos y semillas (Rosenzweig *et al.* 2008, Veit *et al.* 2019); lo que resulta de gran importancia en el manejo de los bosques (Cifuentes Gómez *et al.* 2013) y restauración ecológica, particularmente para recolección de semillas (Morellato *et al.* 2016). Además, es la base para planear una adecuada época de reproducción y propagación de especies, contribuyendo con ello al mejoramiento y conservación del germoplasma (Cornelius y Ugarte 2010), sumado a esto, los estudios fenológicos permiten una mejor gestión y conservación de los sistemas naturales (Polgar y Primack 2011), asimismo, proporcionan conocimientos clave que pueden incorporarse en modelos predictivos que pronostican escenarios

de cambio climático (Morissette *et al.* 2009, Rosemartin *et al.* 2014, Mendoza *et al.* 2017).

Hasta donde sabemos, no existen estudios recientes que describan el comportamiento fenológico de *C. micrantha*: sin embargo, se han desarrollado otro tipo de estudios botánicos y ecológicos de esta especie (Zevallos y Percy 1989, Aymard *et al.* 1990, Taylor *et al.* 2004, Aymard 2019). Esta investigación tuvo como objetivo estudiar la fenología vegetativa, expresada como número de hojas nuevas, hojas maduras, y tiempo de abscisión foliar y reproductiva caracterizada por tiempos de floración, fruto inmaduro, fruto maduro y fruto dehiscente de *C. micrantha* y correlacionarlas con la temperatura, precipitación y el fotoperiodo en bosques húmedos de la provincia de Jaén, Perú. Como hipótesis nos planteamos que la fenología vegetativa de *C. micrantha* no presenta un patrón estacional debido a que la especie es perennifolia y que la fenología reproductiva se ve influenciada por los patrones climáticos de la zona de estudio (Villar *et al.* 2018).

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La población estudiada de *C. micrantha* se encuentra en una plantación forestal ubicada en la comunidad de La Cascarilla (5°40'16,5" Norte y 78°53'11,6" Oeste), provincia de Jaén, Perú. El área tiene una elevación promedio de 1 810 m y corresponde a bosque húmedo premontano (bh-P) (Holdridge 1987), con diversas zonas de cultivo de café y alta vegetación arbórea, como; *Cedrela odorata* L., *Myrsine oligophylla* Zahlbr., *Retrophyllum rospigliosii* Pilg., *Myrcianthes rhopaloides* (Kunth) McVaugh y *Ochroma pyramidale* Urb. La precipitación anual es de 1 730 mm, la temperatura mínima de 13 °C y la máxima de 20,5 °C.

Especie de estudio

Cinchona micrantha es una especie anemocórica, de 6 a 10 m de altura con fuste cilíndrico o cilíndrico irregular, de 20 a 35 cm de diámetro; presenta una ramificación simpodial, copa globosa, sus hojas son simples y opuestas, de 7 a 14 cm de longitud y 4 a 10 cm de ancho. Flores en forma de panículas grandes y muy abundantes de hasta 40 cm de longitud, hermafroditas, actinomorfas de hasta 3 cm de longitud; cáliz gamopétalo pequeño de hasta 0,4 cm de largo, con 5 lóbulos, corola gamopétala de color rosada con pubescencia tomentosa de color blanco. La forma del fruto es cápsula oblonga u oblongo-lanceolada, con dehis-

cencia acropétala y semillas diminutas aladas (Zevallos y Percy 1989).

Selección de árboles

Mediante un muestreo aleatorio simple se seleccionaron 35 individuos adultos de *C. micrantha* (diámetro: 4,24 ± 0,58 cm, altura: 5,47 ± 0,74 m), sanos, de fuste recto y en edad reproductiva, esto se determinó mediante la observación de frutos o flores en el árbol (Fournier-O y Charpan-tier 1975). Estos fueron monitoreados mensualmente de enero a diciembre de 2018. En cada visita se observaron y registraron los cambios en las estructuras vegetativas y reproductivas de los árboles.

Fenología vegetativa y reproductiva

Se consideraron tres fenofases vegetativas: (1) hojas nuevas, desde la aparición de las estípulas hasta que la nervadura central de la hoja adquiere un tonalidad rojiza, (2) hojas maduras, desde que la nervadura central de la hoja adquiere un tonalidad rojiza hasta que toda la hoja se vuelve rojiza y (3) abscisión foliar, desde que toda la hoja se vuelve rojiza hasta que cae; y cuatro fenofases reproductivas: (1) floración, desde la aparición de la estructura reproductiva hasta que las flores hayan caído, (2) fruto inmaduro, desde el comienzo del desarrollo del fruto hasta que los frutos adquieren una tonalidad rojiza, (3) fruto maduro, desde el momento en que los frutos se vuelven rojizos hasta que adquieren un color marrón, y (4) fruto dehiscente, desde que los frutos adquieren un color marrón hasta que se realiza la apertura de los frutos y dispersión de las semillas. El registro de las fenofases fue desarrollado por un único observador, quien se encargó de caracterizar la copa de cada uno de los árboles, determinando la presencia y la intensidad del fenómeno. Para cada mes se estimó el porcentaje de individuos en cada fenofase (número de individuos en fenofase/total de individuos ×100); la intensidad de los eventos fenológicos se determinó individualmente mediante una escala semicuantitativa de cinco categorías (cero a cuatro), con intervalo del 25 % entre ellos, donde: cero indica ausencia total del evento, uno de 1 a 25 %, dos de 26 a 50 %, tres de 51 a 75 % y cuatro de 76 a 100 % (Fournier 1976, García y Di Stefano 2005, Pineda-Herrera *et al.* 2012b). El resultado mensual de las observaciones a los árboles se promedió para cada característica en toda la muestra. Estos valores definen la presencia y la intensidad de las variables vegetativas y reproductivas del estudio, denominándose Unidades de Fournier (UF).

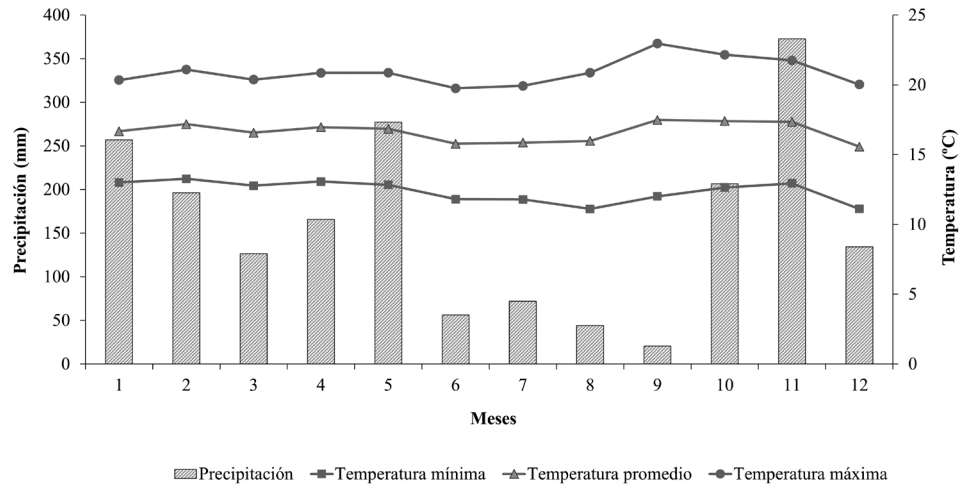


Figura 1. Precipitación (mm) y temperatura media anual (°C) de la zona durante el periodo de enero a diciembre de 2018.

Adicionalmente, se determinó el Índice de Solapamiento de Fenofases (ISF) mediante la ecuación de solapamiento de nicho de Pianka (1986):

$$ISF_{ij} = \frac{\sum_{i=1}^n p_{ij}p_{ik}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n p^2_{ij} \sum_{i=1}^n p^2_{ik}}};$$

donde p = proporción de individuos mostrando una fenofase dada en el episodio i de monitoreo respecto a la suma de individuos mostrando dicha fenofase en n episodios de monitoreo, con j y k como subscritos del par de fenofases comparadas. Valores de ISF cercanos a uno indican total solapamiento de fenofases y valores de ISF cercanos a cero indican escaso solapamiento.

Fenología y factores abióticos

Para relacionar las fenofases de *C. micrantha* con algunos factores abióticos se utilizaron datos de fotoperiodo extraídos de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA, por sus siglas en inglés) y de precipitación (mm) y temperatura máxima, mínima y media (°C) extraídos de la estación meteorológica La Cascarilla (5°40'18,3" Norte y 78°53'51,6" Oeste) que pertenece al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) del Perú, ubicada a 2 km al oeste en línea recta del área de estudio.

Análisis de datos

Para relacionar las variables fenológicas con la temperatura, precipitación y el fotoperiodo se usó la prueba de correlación de Spearman debido a que los datos fenológicos no cumplen con una distribución normal. Se utilizó la media de cada fenofase con la media de la temperatura mínima,

máxima, precipitación mensual y fotoperiodo para los meses de estudio, con ayuda del software StatGraphics Centurion XVI (StatPoint Technologies Inc, Warrenton, VA, EE. UU.), además, se realizó un dendrofenograma según lo propuesto por Fournier (1976).

RESULTADOS

Descripción climática

La temperatura mensual promedio fue de 16,6 °C y la precipitación mensual promedio fue de 160,7 mm. La mayor precipitación ocurrió en noviembre, y los niveles más bajos de lluvia ocurrieron de junio a septiembre, los meses más cálidos fueron septiembre, octubre y noviembre y el más frío fue diciembre (Fig. 1).

Fenología vegetativa y reproductiva

Se produjeron hojas nuevas durante todo el año con un mínimo entre junio y agosto. La fenofase de hojas maduras tiene una tendencia de producción relativamente uniforme a lo largo del año, mientras que la fenofase de abscisión foliar registra sus valores más altos en julio y agosto (Fig. 2). Variación temporal de caracteres reproductivos en *C. micrantha* registradas entre enero y diciembre de 2018 en la comunidad de La Cascarilla, Jaén, Perú. **a.** Distribución porcentual de fenofases reproductivas, **b.** manifestación de variables biológicas reproductivas.

Se encontró una correlación positiva entre la precipitación y la temperatura mínima y la fenofase hojas nuevas ($r_s = 0,72, P = 0,02$ y $r_s = 0,75, P = 0,01$ respectivamente). Se apreció una correlación negativa entre la defoliación,

Tabla 1. Coeficientes de correlación entre las variables climáticas y las fenofases de *C. micrantha*. * Significancia con un $P < 0,05$.

Variable climática	Hojas nuevas	Hojas maduras	Defoliación	Floración	Fruto inmaduro	Fruto maduro	Fruto dehiscente
Precipitación	0,72*	-0,12	-0,33	-0,12	-0,57	-0,61*	-0,03
Temperatura promedio	0,53	0,13	-0,14	-0,55	-0,56	-0,01	0,53
Temperatura mínima	0,75*	0,08	-0,28	-0,08	-0,49	-0,6*	-0,23
Temperatura máxima	0,39	0,25	0,06	-0,53	-0,34	0,24	0,58
Fotoperiodo	0,24	0,23	-0,71*	-0,85*	-0,91*	-0,38	0,48

floración y fruto inmaduro con el fotoperiodo ($r_s = -0,71$, $P = 0,01$; $r_s = -0,85$, $P = 0,004$ y $r_s = -0,91$, $P = 0,002$ respectivamente) (Tabla 1).

El ciclo productivo, desde la aparición de botones florales hasta la dehiscencia de las semillas, duró doce meses. El periodo de floración comprende de febrero a agosto, con un pico en junio, los frutos maduros aparecieron cuatro meses después de que brotaron las flores, con un pico de producción en agosto, esta etapa duró aproximadamente seis meses, mientras que la dehiscencia de los frutos duró cinco meses después del inicio de la fructificación (fruto inmaduro), periodo comprendido entre agosto y diciembre (Fig. 3). Variación temporal de caracteres reproductivos en *C. micrantha* registradas entre enero y diciembre de 2018 en la comunidad de La Cascarilla, Jaén, Perú. **a.** Distribución porcentual de fenofases reproductivas, **b.** manifestación de variables biológicas reproductivas.

Hubo una correlación negativa entre la precipitación y temperatura mínima con la fenofase de fruto maduro ($r_s = -0,61$, $P = 0,04$ y $r_s = -0,60$, $P = 0,05$ respectivamente) (Tabla 1).

Se apreció una elevada sincronía entre las fenofases vegetativas (ISF = 0,93 y 0,96) y entre la abscisión foliar con las fenofases reproductivas (ISF = 0,70 a 0,75), además de la fenofase fruto maduro con las fenofase de fruto dehiscente (ISF = 0,74). Mientras que se observó baja sincronía entre la fenofase de hojas nuevas y hojas maduras con las fenofases reproductivas (ISF = 0,48 a 0,64) excepto entre la fenofase de hojas maduras y la floración (ISF = 0,70). Se observó también una baja sincronía entre la floración y las fenofases de fruto maduro y fruto dehiscente (ISF = 0,09 y 0,41) (Tabla 2).

DISCUSIÓN

Los resultados muestran una correlación positiva entre la producción de hojas nuevas con la precipitación, esto nos sugiere que la cantidad de follaje podría incrementarse en función de la cantidad de agua que las plantas absorban (Wright 1991, Eamus y Prior 2001, Schenk y Jackson 2002), además, se observó una correlación positiva entre la fenofase de hojas nuevas con la temperatura mínima, la cual se relaciona con la intensificación de la actividad fotosintética por debajo de un umbral de demanda evaporativa (Prieto *et al.* 2009, Seghieri *et al.* 2012) esto es consistente con nuestros resultados sobre la probabilidad de aparición de hojas nuevas debido a que la demanda de evaporación depende de la temperatura del aire, en tal sentido, a menor evaporación la probabilidad de aparición de hojas nuevas es mayor (Seghieri *et al.* 2012).

Se observaron hojas maduras en la época húmeda y seca, lo que la clasifica como una fenofase continua (Newstrom *et al.* 1994). Las hojas producidas en la época seca tienen mayores concentraciones de N y P lo que resulta en un incremento en la eficiencia de carboxilación de las hojas y consecuentemente una mayor eficiencia en el uso del agua por las plantas (Franco *et al.* 2005). *Cinchona micrantha* presentó caída de hojas durante todo el año, con picos de defoliación durante la estación seca, esto se debe a que la defoliación representa una adaptación contra la pérdida de agua lo que asegura la supervivencia de la especie en periodos desfavorables, ya que se reduce la superficie de absorción, se mantiene el agua de reserva (Taiz y Zeiger 2002, López *et al.* 2005) y se maximiza la eficiencia de la adquisición de nutrientes por parte de la planta (Reich y Borchert 1988, Franco *et al.* 2005).

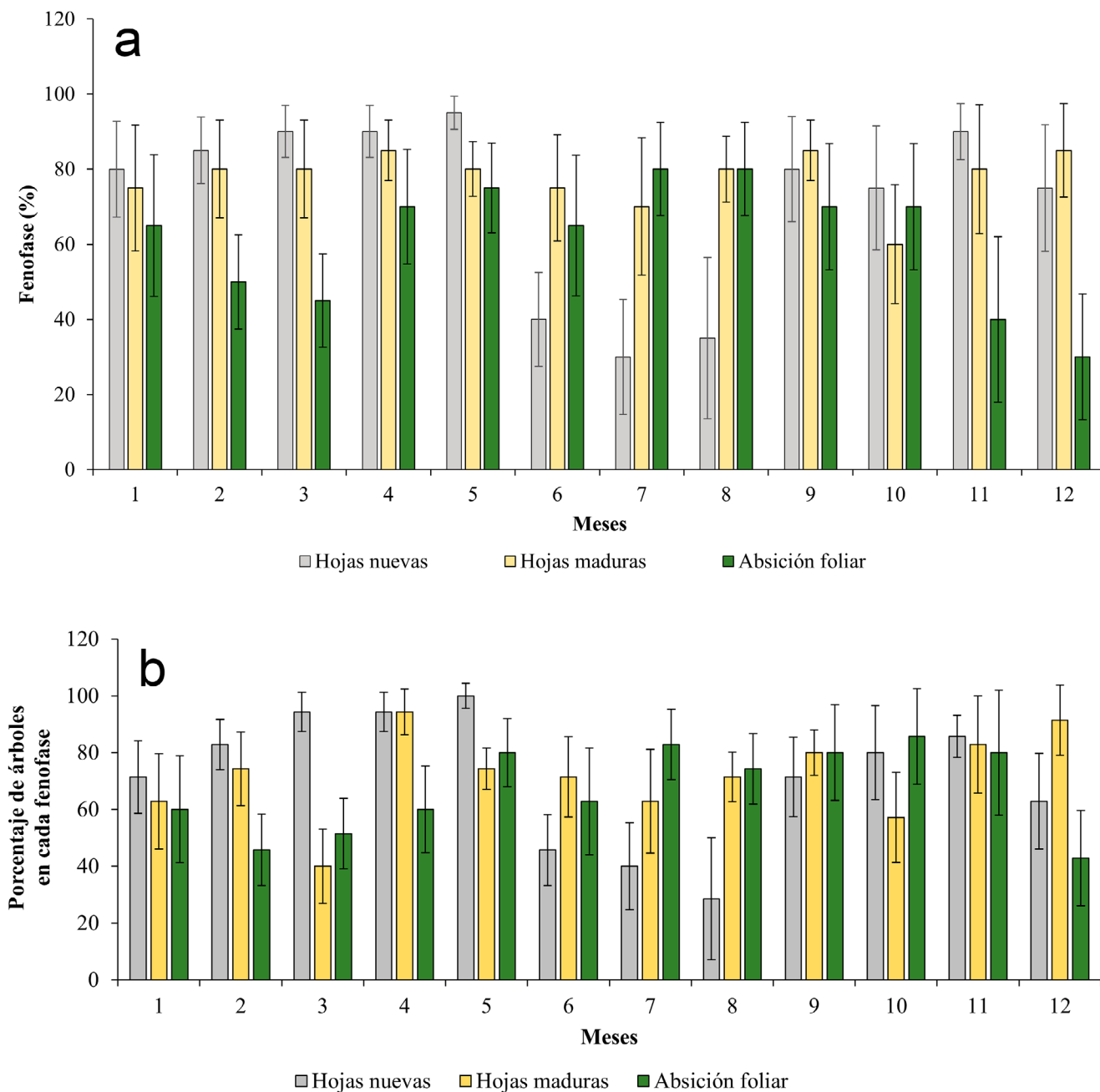


Figura 2. Variación temporal de características vegetativas en *C. micrantha* registradas entre enero y diciembre de 2018 en la comunidad de La Cascarilla, Jaén, Perú. **a.** Distribución porcentual de las fenofases vegetativas, **b.** Manifestación de variables biológicas vegetativas.

La floración mostró una relación negativa con el fotoperíodo, esto puede resultar en un detonante de la actividad reproductiva, ya que pueden utilizar agua previamente almacenada o absorber el agua del suelo mediante un sistema de raíces profundas (Rivera *et al.* 2002, Borchert *et al.* 2004). Esta fenofase se manifestó desde febrero hasta agosto, periodo que abarca una época lluviosa (enero

a mayo) y una época seca (junio a septiembre), cuyo pico de floración fue en junio, la coincidencia entre la floración y la variación ambiental estacional puede estar asociada con el aumento de la actividad de los polinizadores, especialmente de los insectos, lo que nos sugiere que el clima es tanto una señal inmediata como una causa última de los patrones de floración (Boulter *et al.* 2006); además,

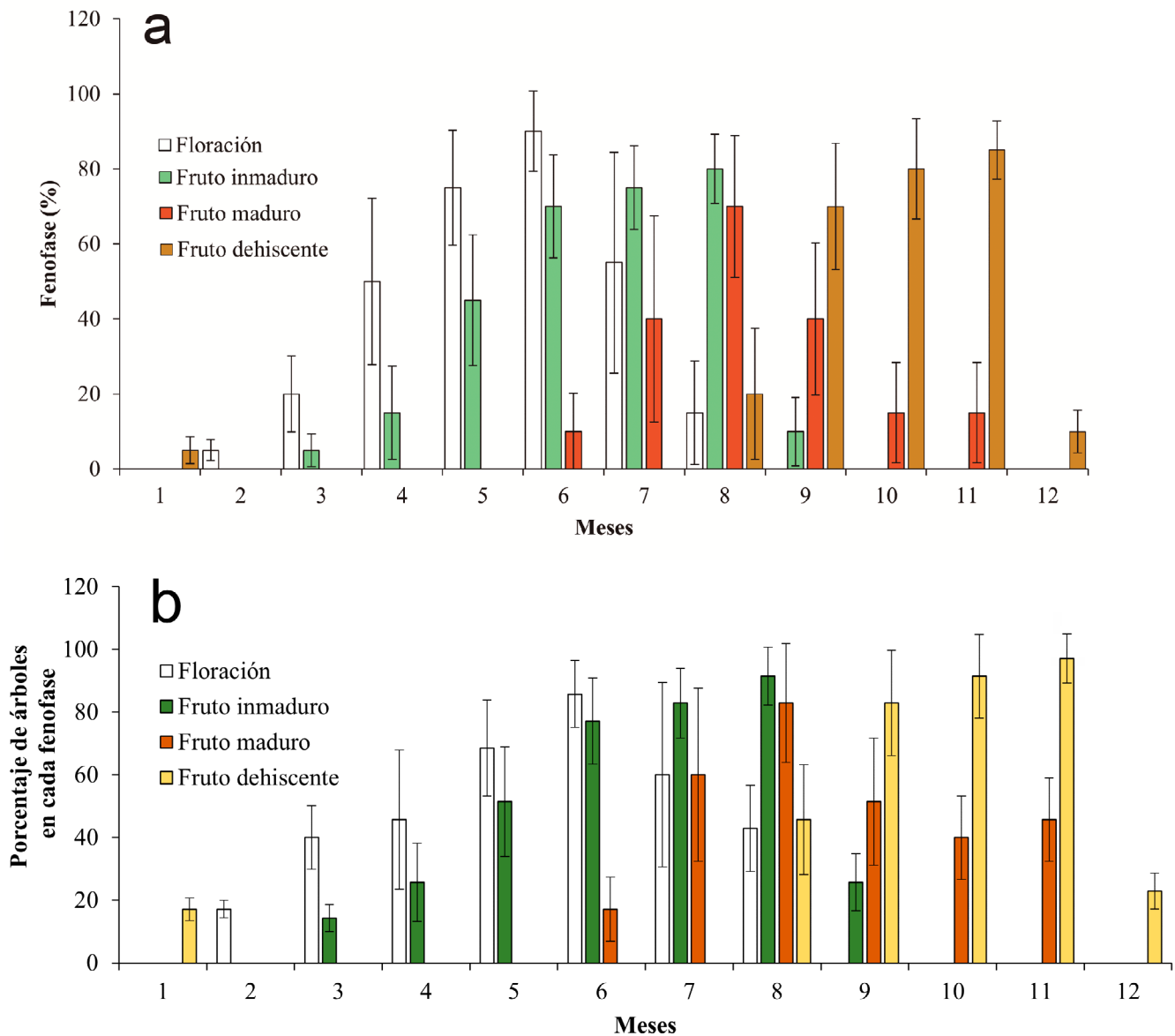


Figura 3. Variación temporal de caracteres reproductivos en *C. micrantha* registradas entre enero y diciembre de 2018 en la comunidad de La Casquilla, Jaén, Perú. **a.** Distribución porcentual de fenofases reproductivas, **b.** Manifestación de variables biológicas reproductivas.

la abundancia de insectos durante la estación húmeda en un sitio de tierras altas dentro de los trópicos húmedos se ha correlacionado con aumentos estacionales en recursos como flores, hojas nuevas y frutos (Frith y Frith 1985).

Los resultados de este estudio sugieren que el inicio de la fructificación (fruto inmaduro) se da en un periodo con

abundantes precipitaciones, este patrón permite comprender la influencia de la humedad del sitio sobre la cantidad y tamaño de las estructuras reproductivas, ya que es vital en el transporte de nutrientes para la formación de frutos (Kramer y Boyer 1995), la máxima producción de fruto inmaduro y fruto maduro se produjeron en la época seca (junio a septiembre), este resultado se relaciona con

Tabla 2. Matriz pareada del índice de solapamiento de fenofases (ISF) para *C. micrantha*.

Fenofase	Hojas nuevas	Hojas maduras	Abscisión foliar	Floración	Fruto inmaduro	Fruto maduro
Hojas maduras	0,96	-	-	-	-	-
Abscisión foliar	0,93	0,95	-	-	-	-
Floración	0,63	0,70	0,71	-	-	-
Fruto inmaduro	0,49	0,64	0,71	0,89	-	-
Fruto maduro	0,48	0,61	0,75	0,41	0,73	-
Fruto dehiscente	0,59	0,60	0,70	0,09	0,24	0,74

lo reportado por Knowles *et al.* (1995) quienes descubrieron que muchas de las especies anemocóricas, como *C. micrantha*, dan fruto en la estación seca, asimismo la fenofase fruto dehiscente se inició en esta época y coincide con el periodo de mayor abscisión foliar, lo que resulta ventajoso para esta especie ya que la dispersión de las semillas se favorece durante períodos más secos, debido a que la baja humedad del aire, el aumento de la velocidad del viento y la reducción de la cobertura foliar facilitan la apertura de los frutos y dispersión de las semillas (Frankie *et al.* 1974, Oliveira y Moreira 1992). Según Newstrom *et al.* (1994) las fenofases reproductivas se clasifican como anuales, ya que la presencia de estas ocurre durante algunos meses seguidos por un periodo de ausencia.

En conclusión, nuestro estudio sugiere que *C. micrantha* no presenta un patrón fenológico estacional para las fenofases vegetativas debido a que es una especie perennifolia mientras que las fenofases reproductivas si se asocian con el comportamiento de la temperatura y la precipitación y se ve influenciada por el fotoperiodo. No obstante, los factores bióticos, como los polinizadores, también podrían tener influencia sobre la fenofase reproductiva de floración. Mediciones similares en otras poblaciones de la especie podrían mostrar la generalidad del patrón detectado o sus variantes geográficas.

PARTICIPACIÓN DE LOS AUTORES

FHFZ y AEHC, concepción, diseño, toma de datos en campo, procesamiento y análisis de datos y escritura del documento.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen conflicto de intereses.

AGRADECIMIENTOS

A Global Premium Brands SA y a Alfonso Morodo por el apoyo económico brindado para la ejecución de la presente investigación.

LITERATURA CITADA

- Aymard GA, Cuello N, Fernández A. 1990. Observaciones sobre el hallazgo de *Cinchona amazónica* Standl. (Rubiaceae) en la Guayana Venezolana. *Biollania* 7:125-130.
- Aymard GA. 2019. Breve reseña de los aspectos taxonómicos y nomenclaturales actuales del género *Cinchona* (Rubiaceae-Cinchoneae). *Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat.* 43(Supl):234-241. doi: <https://doi.org/10.18257/raccefyn.1079>
- Borchert R, Meyer SA, Felger RS, Porter-Bolland L. 2004. Environmental control of flowering periodicity in Costa Rican and Mexican tropical dry forests. *Glob. Ecol. Biogeogr.* 13(5):409-425. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1466-822X.2004.00111.x>
- Boulter SL, Kitching RL, Howlett BG. 2006. Family, visitors and the weather: Patterns of flowering in tropical rain forests of northern Australia. *J. Ecol.* 94(2):369-382. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2005.01084.x>
- Cifuentes Gómez L, Moreno F, Arango DA. 2013. Comportamiento fenológico de *Euterpe oleracea* (Arecaceae) en bosques inundables del Chocó biogeográfico. *Rev. Mex. Biodivers.* 84(2):591-599. doi: <http://dx.doi.org/10.7550/rmb.30326>
- Córdova JH, Moquillaza SE. 2001. Ecoeconomía y desarrollo sostenible como conceptos centrales para una propuesta seria al Perú. *Rev. Peru. Biol.* 8(2):174-185. doi: <https://doi.org/10.15381/rpb.v8i2.6720>
- Cornelius JP, Ugarte GLJ. 2010. Introducción a la genética y domesticación forestal para la agroforestería y silvicultura. Lima, Perú: Centro Mundial para la Agroforestería.
- De-la-Cruz H, Vilcapoma G, Zevallos PA. 2007. Ethnobotanical study of medicinal plants used by the Andean people of Canta, Lima, Peru. *J. Ethnopharmacol.* 111(2):284-294. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jep.2006.11.018>

- Eamus D, Prior L. 2001. Ecophysiology of trees of seasonally dry tropics: comparisons among phenologies. *Adv. Ecol. Res.* 32:113-197. doi: [https://doi.org/10.1016/S0065-2504\(01\)32012-3](https://doi.org/10.1016/S0065-2504(01)32012-3)
- Fajardo J, Lessmann J, Bonaccorso E, Devenish C, Muñoz J. 2014. Combined use of systematic conservation planning, species distribution modelling, and connectivity analysis reveals severe conservation gaps in a megadiverse country (Peru). *PLoS ONE*. 9(12):e114367. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0114367>
- Fournier L. 1976. Observaciones fenológicas en el bosque húmedo premontano de San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica. *Turrialba* 26(1):54-59.
- Fournier-O LA, Charpentier C. 1975. El tamaño de la muestra y la frecuencia de las observaciones en el estudio de las características fenológicas de los árboles tropicales. *Turrialba* 25:45-48.
- Franco AC, Bustamante M, Caldas LS, Goldstein G, Meinzer FC, Kozovits AR, Rundel P, Coradin VRT. 2005. Rasgos funcionales foliares de árboles de sabana neotropical en relación al déficit hídrico estacional. *Trees* 19:326-335. doi: <https://doi.org/10.1007/s00468-004-0394-z>
- Frankie GW, Baker HG, Opler PA. 1974. Estudios fenológicos comparativos de árboles en las tierras bajas de Costa Rica. *Rev. Ec.* 62:881-919.
- Frith CB, Frith DW. 1985. Estacionalidad de la abundancia de insectos en una selva tropical de las tierras altas de Australia. *Rev. Aust. Ec.* 10:237-248.
- García EG, Di Stefano JF. 2005. Fenología de árbol *Sideroxylon capiri* (Sapotaceae) en el Bosque Seco Tropical de Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 53(1-2):05-14.
- García-Barriga H. 1975. Flora medicinal de Colombia. Bogotá, Colombia: Nacional.
- Holdridge LR. 1987. Ecología basada en zonas de vida. San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas.
- Kaufman TS, Rúveda EA. 2005. The Quest for Quinine: Those Who Won the Battles and Those Who Won the War. *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* 44(6):854-885. doi: <https://doi.org/10.1002/anie.200400663>
- Knowles OH, Knowles DH, Parrotta JA, Parrotta JA. 1995. Amazonian forest restoration: An innovative system for native species selection based on phenological data and field performance indices. *The Com. For. Rev.* 74(3):230-243.
- Kramer PJ, Boyer JS. 1995. *Water Relations of Plants and Soils*. Nueva York: Academic Press.
- Loayza-O K, de Oliveira BH, Córdor CE, Reyna PV. 2010. Estudio químico de los tallos de *Cinchona pubescens*. *Rev. Enc. Cient. Int.* 7(1):10-24.
- López N. 2016. Evaluación del paisaje y recursos escénicos después de 350 años de explotación de la "casarilla", *Cinchona officinalis* L. (Rubiaceae) en el sector Cajanuma- Rumishitana, Ecuador. *Arnaldoa* 23(2):461-474. doi: <https://doi.org/10.22497/arnaldoa.232.23205>
- López OR, Kursar TA, Cochard H, Tyree MT. 2005. Interspecific variation in xylem vulnerability to cavitation among tropical tree and shrub species. *Tree Physiol.* 25(12):1553-1562. doi: <https://doi.org/10.1093/treephys/25.12.1553>
- Mendoza I, Peres CA, Morellato LPC. 2017. Continental-scale patterns and climatic drivers of fruiting phenology: A quantitative Neotropical review. *Glob. Planet. Change.* 148:227-241. doi: <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2016.12.001>
- Morellato LPC, Alberton B, Alvarado ST, Borges B, Buisson E, Caramo MGG, Cancian LF, Carstensen DW, Escobar DFE, Leite PTP, Mendoza I, Rocha NMWB, Soares NC, Silva TSF, Stagge-meier VG, Streher AS, Vargas BC, Peres CA. 2016. Linking plant phenology to conservation biology. *Biol. Conserv.* 195:60-72. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2015.12.033>
- Morissette JT, Richardson AD, Knapp AK, Fisher JI, Graham EA, Abatzoglou J. 2009. Tracking the rhythm of the seasons in the face of global change: Phenological research in the 21st century. *Front. Ecol. Environ.* 7(5):253-260. doi: <https://doi.org/10.1890/070217>
- Newstrom LE, Frankie GW, Baker HG. 1994. A new classification for plant phenology based on flowering patterns in lowland tropical rain forest trees at La Selva, Costa Rica. *Biotropica* 26(2):141-159. doi: <https://doi.org/10.2307/2388804>
- Oblitas G, Hernández-Córdova G, Chiclla A, Antich-Barrientos M, Ccorihuamán-Cusitito L, Romani F. 2013. Empleo de plantas medicinales en usuarios de dos hospitales referenciales del Cusco, Perú. *Rev. Per. Med. Exp. Sal. Pub.* 30(1):64-68. doi: <https://doi.org/10.1590/S1726-46342013000100013>
- Oliveira PE, Moreira AG. 1992. Especies de anémocoria en cerrado y bosque de galería. *Rev. Bra. Bot.* 15:163-174.
- Pianka ER. 1986. *Ecology and Natural History of Desert Lizards*. Princeton, New Jersey: Princeton University Press.
- Pineda-Herrera E, Valdez-Hernández JI, López-López MA. 2012b. Fenología de *Schizolobium parahyba* y *Vochysia guatemalensis* en una selva alta perennifolia de Oaxaca, México. *Bot. Scien.* 90(2):185-193. doi: <https://doi.org/10.17129/botsci.483>
- Polgar CA, Primack RB. 2011. Leaf-out phenology of temperate woody plants: from trees to ecosystems. *New Phytol.* 191(4):926-941. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2011.03803.x>
- Prieto P, Peñuelas J, Llusà J, Asensio D, Estiarte M. 2009. Effects of experimental warming and drought on biomass accumulation in a Mediterranean shrubland. *Plant Ecol.* 205(2):179-191. doi: <https://doi.org/10.1007/s11258-009-9608-1>
- Reich PB, Borchert R. 1988. Cambios con la edad de las hojas en la función estomática y el estado hídrico de varias especies de árboles tropicales. *Biotropica* 20(1):60-69. doi: <https://doi.org/10.2307/2388427>
- Rivera G, Elliott S, Caldas LS, Nicolossi G, Coradin VT, Borchert R. 2002. Increasing day-length induces spring flushing of tropical dry forest trees in the absence of rain. *Trees* 16(7):445-456. doi: <https://doi.org/10.1007/s00468-002-0185-3>
- Rosemartin AH, Crimmins TM, Enquist CAF, Gerst KL, Kellermann JL, Posthumus EE, Denny EG, Guertin P, Marsh L, Welztin JF. 2014. Organizing phenological data resources to inform

- natural resource conservation. *Biol. Conserv.* 173:90–97. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2013.07.003>
- Rosenzweig C, Karoly D, Vicarelli M, Neofotis P, Wu Q, Cassa G, Menzel A, Root TL, Estrella N, Seguin B, Tryjanowski P, Liu C, Rawlins S, Imeson A. 2008. Attributing physical and biological impacts to anthropogenic climate change. *Nature* 453(7193):353-357. doi: <https://doi.org/10.1038/nature06937>
- Schenk HJ, Jackson RB. 2002. Rooting depths, lateral root spreads and below-ground/above-ground allometries of plants in water-limited ecosystems. *J. Ecol.* 90(3):480-494. doi: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2745.2002.00682.x>
- Seghier J, Carreau J, Boulain N, De Rosnay P, Arjounin M, Timouk F. 2012. Is water availability really the main environmental factor controlling the phenology of woody vegetation in the central Sahel? *Plant Ecol.* 213(5):861-870. doi: <https://doi.org/10.1007/s11258-012-0048-y>
- Taiz L, Zeiger E. 2002. *Plant Physiology*. Redwood City: Benjamin Cummings Publ. Co.
- Taylor CM, Steyermark JA, Delprete PG, Vincentini A, Cortés R, Zappi DC, Persson CH, Costa DB, Anunciação E. 2004. Rubiaceae. *Flora of Venezuela Guayana*. USA: Missouri Botanical Garden. p. 497-847.
- Veit PA, Schwarz SF, Guerra D, Veit PA, Schwarz SF, Guerra D. 2019. Monitoring the phenology of *Myrcianthes pungens* (O. Berg) d. Legrand in the state of Rio Grande do Sul—Brazil. *Rev. Bras. Frutic.* 41(3). doi: <https://doi.org/10.1590/0100-29452019164>
- Villar MÁ, Marcelo FE, Baselly JR. 2018. Evaluación de la fenología de la *Cinchona officinalis* L. en la Zona de Amortiguamiento del Bosque de Protección de Pagaibamba-I Etapa. Instituto Nacional de Innovación Agraria. [Revisada en: 01 ene 2020] <http://repositorio.inia.gob.pe/handle/inia/913>
- Wright SJ. 1991. Seasonal drought and the phenology of shrubs in a tropical moist forest. *Ecology* 72(5):1643-1657. doi: <https://doi.org/10.2307/1940964>
- Zevallos P, Percy A. 1989. Taxonomía, distribución geográfica y estatus del género *Cinchona* en el Perú. Lima, Perú: Instituto Nacional de Recursos Naturales - Biblioteca Institucional.