

FENOLOGÍA FLORAL DE NUEVE VARIEDADES DE NOCHEBUENA (*Euphorbia pulcherrima* WILLD. EX KLOTZSCH)

FLORAL PHENOLOGY OF NINE POINSETTIA VARIETIES (*Euphorbia pulcherrima* WILLD. EX KLOTZSCH)

Rodríguez-Rojas, T. de J.; M. Andrade-Rodríguez, A. Castillo-Gutiérrez y O.G. Villegas-Torres.
FENOLOGÍA FLORAL DE NUEVE VARIEDADES DE NOCHEBUENA (*Euphorbia pulcherrima* WILLD. EX KLOTZSCH).
FLORAL PHENOLOGY OF NINE POINSETTIA VARIETIES (*Euphorbia pulcherrima* WILLD. EX KLOTZSCH).

FENOLOGÍA FLORAL DE NUEVE VARIEDADES DE NOCHEBUENA (*Euphorbia pulcherrima* WILLD. EX KLOTZSCH).

FLORAL PHENOLOGY OF NINE POINSETTIA VARIETIES (*Euphorbia pulcherrima* WILLD. EX KLOTZSCH).

Rodríguez-Rojas, T. de J.,
M. Andrade-Rodríguez,
A. Castillo-Gutiérrez y
O.G. Villegas-Torres.

FENOLOGÍA FLORAL DE
NUEVE VARIEDADES DE
NOCHEBUENA (*Euphorbia*
pulcherrima WILLD. EX
KLOTZSCH).

FLORAL PHENOLOGY OF
NINE POINSETTIA
VARIETIES (*Euphorbia*
pulcherrima WILLD. EX
KLOTZSCH).

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 51: 123-139. Enero 2021

DOI:
10.18387/polibotanica.51.8

T. de J. Rodríguez-Rojas
M. Andrade-Rodríguez / maria.andrade@uaem.mx

A. Castillo-Gutiérrez
O.G. Villegas-Torres

Posgrado en Ciencia Agropecuarias y Desarrollo Rural
Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Morelos.
Avenida Universidad 1001. 62209. Colonia Chamilpa,
Cuernavaca, Morelos, México. 7773297046.

RESUMEN: La mayoría de los estudios fenológicos se centran en la observación de cambios en la morfología de la planta, con aparición, transformación o desaparición relativamente rápida de determinados órganos o distintos acontecimientos, que se denominan fenómenos fenológicos. El intervalo entre dos acontecimientos o fenómenos fenológicos define un estado fenológico o fase de desarrollo de las plantas. El objetivo de este trabajo fue documentar las fases fenológicas de la floración y desarrollo del fruto de la nochebuena y sus cambios anatómicos, para definir aspectos relacionados con el mejoramiento genético. Se estudiaron tres variedades de nochebuena de sol y seis cultivares de sombra. El registro de las observaciones de las fases fenológicas de la floración se inició con la pigmentación de la nervadura central de la bráctea, la cual muestra el inicio de la fase reproductiva; se hicieron observaciones diarias para describir los cambios fenológicos sucesivos hasta la formación de frutos; se usó la escala internacional Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt und Chemische (BBCH), que provee un sistema de codificación decimal para describir las diferentes etapas fenológicas. Se registró la duración de la floración (en días). La duración de la floración difirió en cada una de las etapas fenológicas entre variedades. En las nochebuenas de sol el inicio del desarrollo del fruto ocurrió de manera ascendente, mientras que en las nochebuenas de sombra ocurrió en forma descendente. Los resultados permitieron documentar la fenología floral, con lo cual, en trabajos posteriores, se puede establecer un programa de mejoramiento genético que permita programar las cruces entre variedades.

Palabras clave: Cambios anatómicos, desarrollo de la floración y fruto, estados fenológicos.

ABSTRACT: Most phenological studies focus on the observation of changes in the morphology of the plant, with relatively rapid appearance, transformation or disappearance of certain organs or different events, which are called phenological phenomena. The interval between two events or phenological phenomena defines a phenological state or development phase of plants. The objective of this work was to document the floral phenology of poinsettia and its anatomical changes, to define aspects related to genetic improvement. Three varieties of poinsettia and six shade cultivars were studied. The recording of the observations of the phenological phases of flowering began with the pigmentation of the central midrib of the bract, which shows the beginning of the reproductive phase, daily observations were made to describe the

successive phenological changes until the formation of fruits; The international Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt und Chemische (BBCH) scale, which provides a decimal coding system, was used to describe the different phenological stages. The duration of flowering was recorded (in days). The duration of flowering differed in each of the phenological stages among varieties. On the sun poinsettias the onset of the ciatus development occurs in an ascending manner, while on the shadow poinsettias it occurs in descending manner. The results allowed documenting the floral phenology with which, in later works, a genetic improvement program can be established that allows for crossbreeding between varieties.

Key words: Anatomical changes, flowering and fruit development, phenological states.

INTRODUCCIÓN

La familia Euphorbiaceae está formada por taxones de gran valor económico, es una familia compleja, con mucho potencial de investigación, la complejidad en el rango de hábitat y la variabilidad de la morfología y la genética ha hecho que la clasificación en Euphorbiaceae sea difícil, dentro de lo cual, una característica importante son los tipos de inflorescencia (Mwine *et al.*, 2011).

La fenología es el estudio de las fases o actividades periódicas y repetitivas del ciclo de vida de las plantas y su variación temporal a lo largo del año (Mantovani *et al.*, 2003). La variación en el tiempo de floración en relación con la fenología vegetativa, inducida por una variedad de factores (lluvia significativa en invierno/verano, disminución o aumento del fotoperíodo, o caída de hojas inducida por la sequía), da como resultado una serie de patrones de floración en árboles tropicales (Borchert *et al.*, 2004).

Por lo tanto, la fenología de la floración puede afectar la ecología de una planta en múltiples niveles, incluido el éxito reproductivo individual de la planta, las interacciones de planta con otros organismos, dinámica de la población de plantas y funcionamiento del ecosistema (Bronstein, 1995). Las relaciones entre fenología de floración, el fruto, la producción de semillas, tamaño y crecimiento de las plantas, y el grado de variabilidad espacial y temporal en estas relaciones pueden proporcionar una idea de las fuerzas selectivas, afectando la evolución del tiempo de floración; comparando estos factores en especies estrechamente relacionadas se puede indicar hasta qué punto la evolución de la fenología de floración está limitada por la historia del linaje a la que pertenecen (McIntosh, 2002).

El conocimiento de la fenología proporciona información sobre la disponibilidad de recursos a lo largo del año y permite determinar las estrategias de recolección de frutos, lo que puede favorecer la calidad y cantidad de semillas para la producción de nuevas plántulas (Mantovani *et al.*, 2003).

Los estudios sistemáticos en *Euphorbia pulcherrima* Willd. ex Klotzsch permiten conocer la amplitud de la variación morfológica, la que es evidente en México, cuyas zonas tropicales son el centro de origen de la especie (Ing-Ming, 2000; Trejo *et al.*, 2012), donde se le conoce como nochebuena. Es una planta arbustiva que alcanza 5 m de altura, presenta flores femeninas, sin pétalos ni sépalos, rodeadas por flores masculinas conformando una estructura denominada ciatio (Ecke *et al.*, 2004; Taylor *et al.*, 2011). La inflorescencia está compuesta por un conjunto de ciatios de primer a cuarto orden (Struckmeyer & Beck, 1960), y botánicamente es una cima bípara (Grueber, 1985).

El producto final de un cultivo es consecuencia de un proceso derivado de las actividades agrícolas efectuadas durante todo el ciclo, por lo que para los investigadores y productores se hace necesario el conocimiento de la fenología agrícola y la posible duración de las diferentes etapas como indicador para conocer su ciclo de desarrollo de floración y fructificación. Desde el punto de vista agronómico, la fenología estudia el efecto de las consecuencias del clima y

microclima en los cultivos. Una vez conocido el clima y microclima bajo los cuales se encuentra un cultivo se puede prever la respuesta que las plantas tendrán en cuanto a la brotación, floración, fructificación y maduración (Ramírez-Bullón *et al.*, 2014). Al respecto, Lieth (1974), menciona que existe una sincronía fenológica que se observa en muchas especies de distintas comunidades vegetales puede presuponer la existencia de un ajuste fenológico preciso con la estacionalidad del clima.

La mayoría de los estudios fenológicos se centran en la observación de cambios en la morfología de la planta, con aparición, transformación o desaparición relativamente rápida de determinados órganos o distintos acontecimientos, que se denominan fenómenos fenológicos (Hack *et al.*, 1992). El intervalo entre dos acontecimientos o fenómenos fenológicos define un estado fenológico o fase de desarrollo de las plantas (Hack *et al.*, 1992).

La escala internacional “Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt und Chemische” (BBCH) fue propuesta por Hack *et al.* (1992), para describir las diferentes etapas fenológicas de especies consideradas como malezas y cultivos, la cual se basa en un sistema de codificación decimal. Martinelli *et al.* (2015) desarrolló un sistema de codificación más extendido y preciso llamándolo “escala general y ampliada BBCH” usado para dicotiledóneas.

La escala BBCH posee un código de dos dígitos que describe los estadios secundarios, el primero corresponde a la etapa principal de crecimiento y el segundo corresponde a la etapa secundaria o intermedia (Tejera & Heaton, 2017).

Dentro de la fase reproductiva se encuentra el estudio de la fenología floral que evalúa diferentes fases como emergencia de la inflorescencia, abertura de las primeras flores, desarrollo del fruto y madurez del fruto. Existen diversos estudios relacionados con la fenología de *Euphorbia* spp, Narbona *et al.* (2011) estudiaron cómo la auto-incompatibilidad, la dicogamia y la floración evitan la autofertilización en dos especies. Por otra parte, Torres-Olivar *et al.* (2018) realizaron un estudio para comprender la influencia de la nutrición (relación $\text{NO}_3^- : \text{Ca}^{2+}$ en la solución nutritiva) en el crecimiento y la calidad de *E. pulcherrima*, así como determinar la relación óptima en tres etapas fenológicas, formación de raíces, crecimiento vegetativo y floración. Elias & An-Ci (1985) estudiaron la morfología y anatomía de nectarios foliares y hojas asociadas en *Mallotus* (*Euphorbiaceae*). Gales *et al.* (2008) realizaron un estudio de aspectos morfológicos e histoanatómicos sobre la morfogénesis floral en *Euphorbia cyparissias* L.

Se han realizado algunos estudios en *Poinsettia* como Sharma & Sharma (1988) investigaron la organización del meristemo apical y Hayashi *et al.* (1991) estudiaron la composición y desarrollo de la inflorescencia compuesta; además, Huang & Chu (2008) investigaron los métodos para mejorar la fertilidad.

En las plantas anuales, mientras exista agua disponible, el desarrollo y los estadios fenológicos son continuos a partir de su germinación; la floración y fructificación pueden concebirse como el resultado de la madurez del individuo, pero son también moduladas por factores del medio (Inouye, 1991).

Dado lo antes mencionado, en *E. pulcherrima* no se dispone de información publicada sobre la descripción de las etapas fenológicas, el desarrollo floral y cortes histoanatómicos de la floración. Por lo que, a fin de tener un indicador del momento de venta o, llegado el caso, la intervención en manipulación para mejoramiento genético y producción de semillas, el objetivo de la presente investigación fue documentar la fenología floral de tres variedades de nochebuena de sol y seis cultivares de sombra, así como sus cambios anatómicos, para definir aspectos relacionados con el mejoramiento genético, a desarrollar en trabajos posteriores.

MATERIAL Y MÉTODOS

Plantas estudiadas

Se estudiaron tres variedades de nochebuena de sol (ramificación restringida): 'Belén', 'Juan Pablo', 'Amanecer navideño' y seis cultivares de sombra: 'Freedom red', 'Prestige', 'Nutcracker white', 'Ice punch', 'Sonora white glitter' y 'Cortez burgundy' (fig. 1).



Fig. 1. Nochebuenas de sol. a) 'Belén', b) 'Juan Pablo', c) 'Amanecer navideño' y nochebuenas de sombra. d) 'Freedom red', e) 'Prestige', f) 'Nutcracker white', g) 'Ice punch', h) 'Sonora white glitter', i) 'Cortez burgundy'.

Las variedades de nochebuenas de sol se eligieron por ser las tres variedades mexicanas disponibles con estructuras reproductivas masculinas y femeninas, las de sombra por presentar estructuras reproductivas, por sus colores de brácteas y por ser de alta importancia económica y las que más se comercializan en México. Las plantas se establecieron en un espacio con cubierta de plástico lechoso y malla antiáfido en las paredes laterales, sin cubrir con plástico negro como se hace en la producción comercial.

Fases fenológicas de la floración

Para cada una de las nueve variedades de nochebuena se utilizaron diez plantas, se eligieron dos ramas por planta, con yemas vegetativas de igual tamaño y etapa fenológica; en total se estudiaron veinte inflorescencias por variedad. Los registros iniciaron desde que la nervadura central de la bráctea comenzó a tomar un cambio de color hacia aquel característico de la variedad, lo que marca el inicio de la etapa reproductiva; se hicieron observaciones diarias para describir los cambios fenológicos sucesivos hasta la formación de frutos y semillas.

El estudio de la fenología se realizó desde el 28 de octubre de 2010 hasta el día 31 de marzo de 2011. Las yemas, inflorescencias, flores y frutos fueron observadas macroscópicamente. Los cambios fueron registrados y descritos para seleccionar las etapas fenológicas distintivas y significativas de las variedades; las observaciones obtenidas se ordenaron de acuerdo con la sucesión cronológica de las etapas fenológicas. Las etapas observadas se clasificaron de acuerdo con las tablas fenológicas de la escala BBCH, la cual es un sistema para una codificación uniforme de etapas de crecimiento fenológicamente similares de todas las mono y dicotiledóneas, para la identificación fenológica de estadios de crecimiento para todas las especies de plantas la cual se basa en el código de cereales de Zadoks *et al.* (1974). Las etapas principales son: germinación (etapa 0), desarrollo de hojas en tallo principal (etapa 1), formación de tallos laterales (etapa 2), desarrollo de brotes (etapa 3), desarrollo de partes para propagación vegetativa (etapa 4), emergencia de inflorescencia, brote principal (etapa 5), floración en tallo principal (etapa 6), desarrollo de fruto (etapa 7), maduración de frutos y semillas (etapa 8), senescencia, comienzo de latencia (etapa 9) (Meier *et al.*, 2009).

Con base en las observaciones realizadas, se determinó la duración de la floración, registrándose en días. Los datos obtenidos para duración de la floración fueron comparados mediante análisis de varianza y comparación de medias (Tukey, $P \leq 0.05$) con el paquete estadístico SAS 9.0.

Anatomía durante el desarrollo floral

Se realizaron cortes histológicos en el ápice, conforme ocurrió el desarrollo. Se tomaron cuatro tipos de muestras: ápices en fase vegetativa, yemas florales, ciatio masculino y ciatio hermafrodita. Se fijaron con FAA (10% de formaldehído, 5% ácido acético glacial, 50% alcohol etílico 96% y 35% de agua destilada) para su preservación, los tejidos se dejaron once días en esta solución; posteriormente, se colocaron en una solución de GAA (25% glicerol, 50% etanol absoluto, 25% de agua destilada y un gramo de verde rápido).

La deshidratación de tejidos se efectuó mediante inmersiones en etanol a diferentes concentraciones (50, 70, 96% dos veces, 100% dos veces), los meristemos permanecieron alrededor de 4 h 48 min en cada una de las soluciones de alcohol. Posteriormente, el tejido se mantuvo 4 h 48 min en una mezcla de 1V de alcohol etílico y 1V de xileno, y después se colocaron 14 h 40 min en xileno, con la finalidad de blanquear las células para una tinción más eficiente y facilitar la impregnación en parafina, los dos pasos anteriores se repitieron dos veces en el equipo histokinette 2000®. Por último, los meristemos permanecieron durante 18 h 40 min en parafina.

Después de la impregnación con parafina, los cortes se retiraron del equipo y se fijaron en moldes de aluminio usando parafina líquida, con el fin de hacer bloques rectangulares. Se dejaron enfriar los bloques para después cortarlos en cuadros con un meristemo en cada uno, los que se fijaron en cubos de madera y se llevaron al micrótopo rotatorio para hacer cortes longitudinales del tejido con un grosor de 10 a 13 μm . Los cortes se colocaron en un portaobjetos y se fijaron con un adhesivo de Haupt, (preparado con 1% de grenetina, 13% de glicerina, 2% de fenol en cristales y 84% de agua destilada); las láminas obtenidas se colocaron en una estufa para secarlos durante 48 h.

Para efectuar la tinción, los portaobjetos se sumergieron en una serie de cuatro recipientes con xileno al 100, 96, 70, y 50% dejándolos por 5 min en cada recipiente; después se colocaron en rojo safranina por 15 min, se enjuagaron con agua destilada, y se deshidrataron en etanol al 50, 70, y 96% por 3 min. Posteriormente se colocaron en verde rápido por 6 min; para finalizar se colocaron en un recipiente con xileno durante 3 min. La safranina se preparó al 1,3% en alcohol etílico al 50%, el verde rápido a una concentración de 0,26% en alcohol etílico 96%. Una vez teñidos, los cortes se montaron en portaobjetos para su preservación con bálsamo de Canadá diluido con xileno y un cubre objetos. Finalmente, las preparaciones se mantuvieron en estufa a 35-40 °C durante 8 días para su secado.

Las preparaciones se observaron en un microscopio Carl Zeiss® a 10x y se tomaron fotos con el sistema Motic®; se seleccionaron las fotos más sobresalientes que permitieron ilustrar los cambios anatómicos que ocurrieron en las muestras de la fenología floral de la nochebuena.

Patrón de diferenciación floral en la inflorescencia

Se realizaron registros desde el inicio de la etapa reproductiva hasta la formación de frutos, se realizó el seguimiento diario y se describieron las fases fenológicas en donde se consideró el registro del patrón de diferenciación floral, es decir, la forma en que se fueron presentando los niveles de desarrollo de los ciatios en cada variedad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fases fenológicas de la floración

Estadio principal de crecimiento (escala fenológica BBCH 5)

Aparición del órgano floral (escala fenológica BBCH 51)

La inflorescencia se desarrolló en el ápice de cada una de las ramas. El primer proceso para que la yema vegetativa fuera transformada en yema reproductiva es la inducción floral. El proceso de inducción en la nochebuena está influenciado por el inicio de fotoperíodo corto.

Se observan las primeras yemas florales (fig. 2) aproximadamente a los 5 días del inicio de la pigmentación de las brácteas, se encuentran cubiertas por dos brácteas, las cuales aparentemente se encuentran fusionadas a las yemas florales y nacen de la base de las flores; alcanzan su máximo desarrollo antes que los ciatios. Estas brácteas forman parte de la inflorescencia, aunque funcionalmente no están relacionadas con la reproducción; estas brácteas se engrosan e inicia su pigmentación, la cual indica claramente el inicio de la fase reproductiva. En las nueve variedades estudiadas, la pigmentación de las brácteas se desarrolló en múltiplos de tres, la mayor cantidad de brácteas fueron veinticuatro en 'Cortez burgundy', mientras que el número menor fue quince y se observaron en 'Freedom red' y 'Prestige', esta característica cambia en función de la variedad o cultivar.

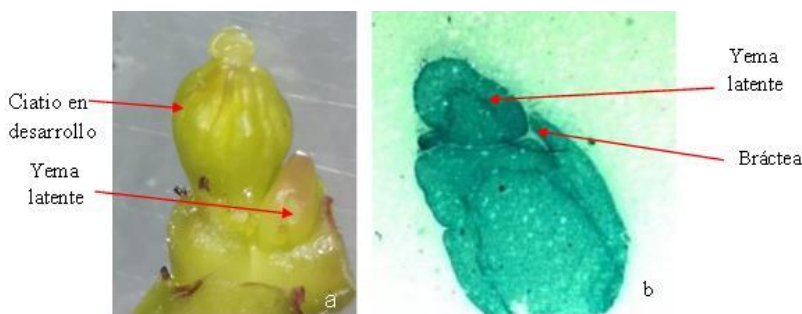


Fig. 2. Estados fenológicos de nochebuena de acuerdo con el código 51 de la BBCH, a) Yema floral, b) Corte anatómico de yema floral.

La pigmentación inició después de seis hojas inferiores a las yemas florales; ocurrió de cuatro maneras: 1) desde el borde de la bráctea hacia la nervadura central en las variedades 'Prestige', 'Ice punch' y 'Cortez burgundy', 2) desde la nervadura central hacia el borde de la bráctea en las tres variedades de sol y en 'Freedom red', 3) entre las nervaduras secundarias en 'Nutcracker white'; 4) moteado en 'Sonora white glitter' (fig. 3).

El inicio de la pigmentación puede ocurrir debido al fotoperíodo corto. Las diferencias entre las variedades, en cuanto a la pigmentación pueden deberse a diferentes necesidades de duración del fotoperíodo corto, aunque en algunas nochebuenas se observó floración con pigmentación de brácteas en los meses de marzo y abril (donde el fotoperíodo comenzó a ser largo).

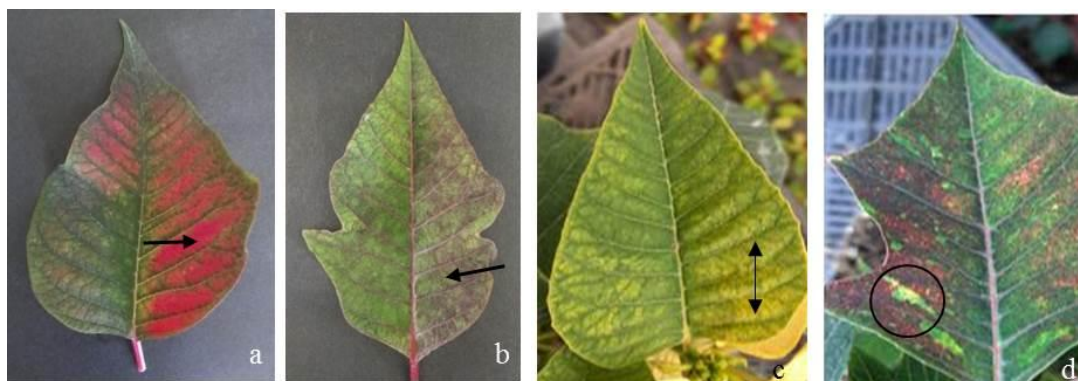


Fig. 3. Patrones de inicio de pigmentación en nochebuena. a) Desde la nervadura central hacia el borde de la bráctea, b) Desde el borde de la bráctea hacia la nervadura central, c) Entre las nervaduras, d) Moteado.

Aparición del órgano floral (escala fenológica BBCH 55)

Las yemas florales se engrosan, crecen y se originan los botones florales que darán lugar a los ciatios del primer nivel de floración, las tres brácteas y las hojas del nivel inferior inmediato de la inflorescencia se pigmentan; alrededor del ciatio se desarrollan tres brácteas, el primer ciatio es masculino y se desarrolla de forma dominante, sin nectario (fig. 4).

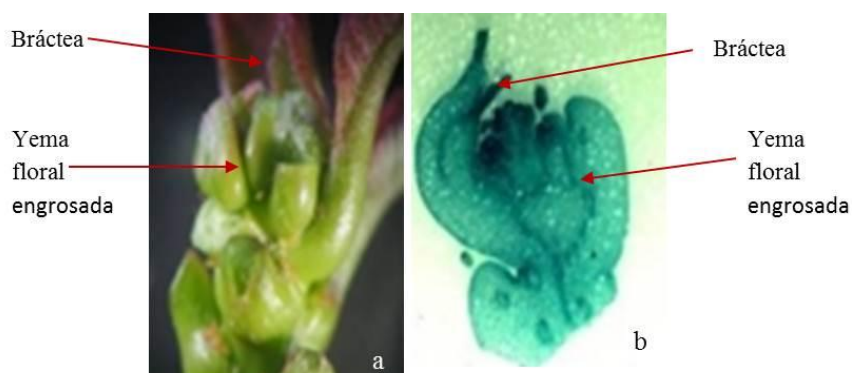


Fig. 4. Estados fenológicos de nochebuena de acuerdo con el código 55 de la BBCH, a) Primeros ciatios, b) Corte anatómico de ciatio.

Las variedades en las que apareció primero el brote floral fueron 'Belén' y 'Juan Pablo' a los 10 días del inicio de la pigmentación de la nervadura de la bráctea, seguido por 'Amanecer navideño' a los 12 días, 'Freedom red' inició a los 16 días, 'Nutcracker white', 'Sonora white glitter' e 'Ice punch', iniciaron a los 18, 19 y 20 días respectivamente, mientras que las que tardaron más en presentar su brote floral fueron 'Cortez burgundy' y 'Prestige' con 24 y 29 días respectivamente, lo que indica que estas dos últimas son variedades tardías.

Estadio principal de crecimiento (escala fenológica BBCH 6)

Floración (escala fenológica BBCH 60)

Este estadio inicia con el crecimiento del primer ciatio masculino. Esta fase se alcanzó cuando se observaron los ciatios del segundo nivel de floración (Figura 5a), el cual está constituido por tres ciatios, estos ciatios se abren por completo, la apertura del ciatio normalmente es rápida y se alcanza el final de la floración; se pigmentan las nuevas brácteas; cada ciatio es acompañado por una bráctea grande y alrededor del ciatio crecieron cuatro brácteas nuevas y se inició el desarrollo del nectario. En el corte anatómico de la flor hermafrodita se observan los estambres y ovario en formación, así como el desarrollo del nectario perteneciente al ciatio (Figura 5b). Las fases secundarias posteriores de esta etapa de crecimiento principal 60 indican el porcentaje de ciatios abiertos.

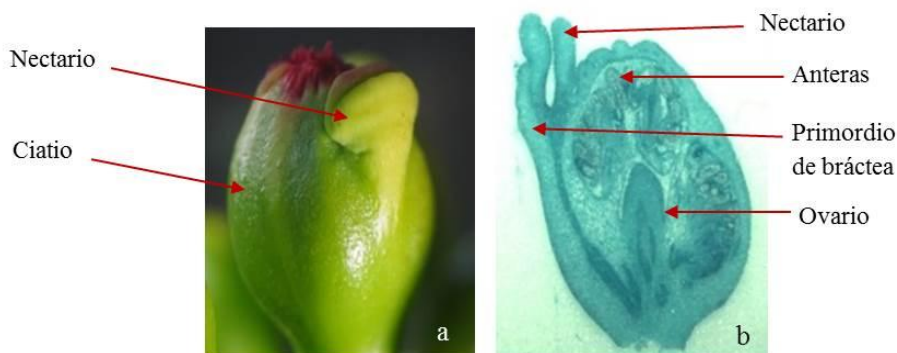


Fig. 5. Estados fenológicos de nochebuena de acuerdo con el código 60 de la BBCH, a) Crecimiento de ciatio, b) Corte anatómico de ciatio en crecimiento.

Floración (escala fenológica BBCH 62)

En esta fase, comienzan a abrir las flores; las inflorescencias registraron 20% de flores abiertas, primero inició la antesis de las flores masculinas del primer nivel de floración, los ciatios del tercer nivel de floración crecen y las doce brácteas pedunculares continúan cubriendo la inflorescencia, las cuales cesan su crecimiento y cambian su pigmentación de verde al color propio de la variedad. En el ciatio dominante del primer nivel de floración las anteras han emergido y están dehiscentes al medio día, en el segundo nivel de floración se observan tres ciatios, acompañados por una bráctea. Se desarrolla el tercer nivel de floración, que constó de, por lo menos, dos ciatios unidos a cada ciatio del segundo nivel, formando a su vez grupos de tres ciatios hermafroditas (fig. 6a, 6b), los ciatios del tercer nivel desarrollaron dos brácteas más pequeñas que los acompañaron. En el corte anatómico se observa un ciatio hermafrodita, en el que emergen las anteras, en tanto que, el ovario ésta en crecimiento al igual que el nectario, conforme al desarrollo del ciatio (fig. 6b).

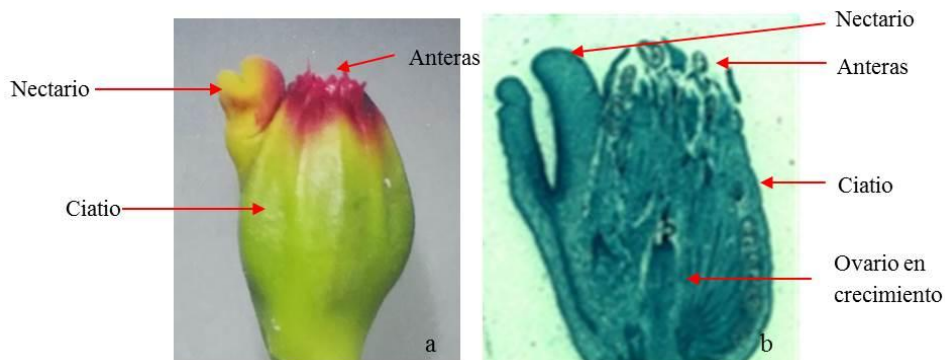


Fig. 6. Estados fenológicos de nochebuena de acuerdo con el código 62 de la BBCH, a) Emergencia de anteras, b) Corte anatómico de ciatio del tercer nivel.

Floración (escala fenológica BBCH 64)

En esta fase de floración (64), el 40% de las flores están abiertas, ocurre antesis en las flores hermafroditas del tercer nivel de floración. En esta fase se desarrollaron y pigmentaron 15 brácteas. En el ciatio del primer nivel de floración continuaron creciendo flores masculinas y presentaron nectarios cupuliformes (con acumulación de néctar). En el segundo nivel de floración tres ciatos continúan creciendo, desarrollan sus flores masculinas y presentan nectarios cupuliformes. En el tercer nivel de floración los ciatios hermafroditas desarrollaron sus nectarios y emergió el estilo (fig. 7a). En el corte anatómico de un ciatio hermafrodita se observa el estilo del gineceo e inicia la emergencia de anteras y los nectarios se ensanchan (fig. 7b).

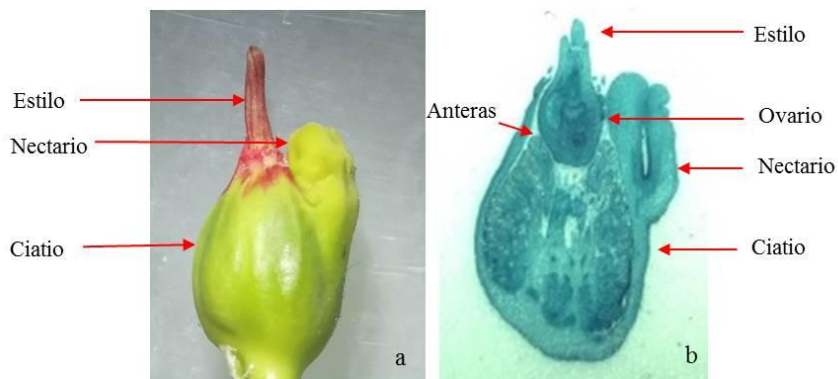


Fig. 7. Estados fenológicos de nochebuena de acuerdo con el código 64 de la BBCH, a) Desarrollo del estilo y nectarios, b) Corte anatómico de desarrollo de ciatio hermafrodita, gineceo, androceo y nectarios.

Floración (escala fenológica BBCH 65)

En este estadio, el 60% de las flores están abiertas; en las flores hermafroditas del tercer nivel de floración, los estigmas emergen del involucre, el estilo trifurcado se mantiene unido (fig. 8a y 8b) y el estigma esta receptivo, esto fue diferente para cada variedad, las que presentaron receptividad del estigma primero fueron las variedades de sol ('Belén', 'Amanecer navideño', 'Juan Pablo') y 'Freedom red' a los 33, 34, 35 y 37 días respectivamente, después de iniciar la pigmentación de las brácteas. Siendo la fecha aproximada de receptividad del estigma de estas variedades entre los días del 30 de noviembre al 7 de enero. Las variedades de sombra 'Sonora white glitter', 'Prestige', 'Ice punch' y 'Nutcracker white' tuvieron estigmas receptivos a los 40,

43, 45 y 47 después de iniciada la pigmentación de las brácteas respectivamente, que ocurrió entre los días del 7 de diciembre al 11 de enero, la más tardía en receptividad del estigma fue 'Cortez burgundy' a los 97 días alrededor del 31 de enero que presentó receptividad del estigma. En el segundo nivel, los tres ciatios dejaron de ensancharse, desarrollaron flores masculinas, con nectarios activos/secretando y anteras dehiscentes. El ciatio del primer nivel inicia la senescencia. En esta fase hay quince brácteas pigmentadas por inflorescencia.

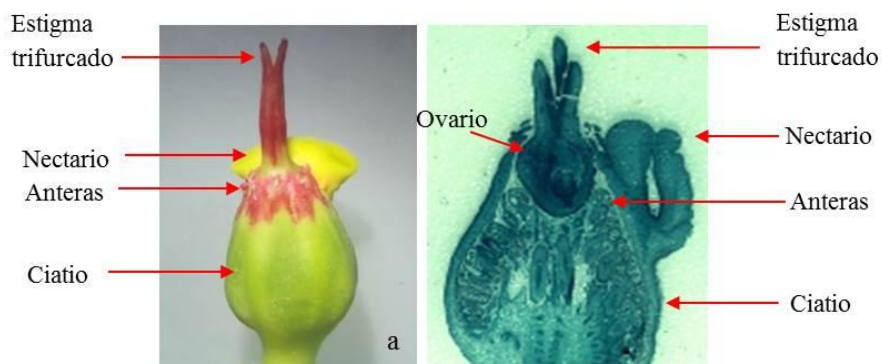


Fig. 8. Estados fenológicos de nochebuena de acuerdo con código 65 de la BBCH, a) Antesis de las flores hermafroditas, b) Corte anatómico longitudinal de ciatio.

Floración (escala fenológica BBCH 67)

La etapa de floración termina, algunas brácteas caen, los ciatios caen (a excepción de los femeninos, si fueron fecundados). En el tercer nivel de floración, los estigmas de las flores femeninas emergieron del involucro por alargamiento del pistilo, las ramas del estigma trifurcado se separan (fig. 9). En el segundo nivel, los tres ciatios dejaron de ensancharse, e iniciaron la senescencia. El ciatio del primer nivel se desprendió de la inflorescencia. Después de la polinización las flores femeninas se tornan de color verde oscuro, verde claro o rojizo en función de variedad y ya no hay polen, los lóbulos del estigma se endurecen y se observa un ensanchamiento del ovario; en las flores masculinas, las anteras comienzan a secarse.



Fig. 9. Estados fenológicos de nochebuena de acuerdo con el código 67 de la BBCH, a) Exposición de las ramas estigmáticas en flores hermafroditas, b) Los ciatios del segundo nivel inician su senescencia.

Floración (escala fenológica BBCH 69)

El estadio comienza con la presencia de flores hermafroditas con óvulos fertilizados, el pedicelo se torna color púrpura en el caso de variedades con brácteas rojas, con lo que da inicio el crecimiento de frutos y antesis masculina en las flores hermafroditas del tercer nivel de floración; aunado a esto se caen los ciatios y algunas brácteas. En esta fase, se mantuvieron quince brácteas pigmentadas por inflorescencia. En el segundo nivel, los ciatios se desprendieron (fig. 10).

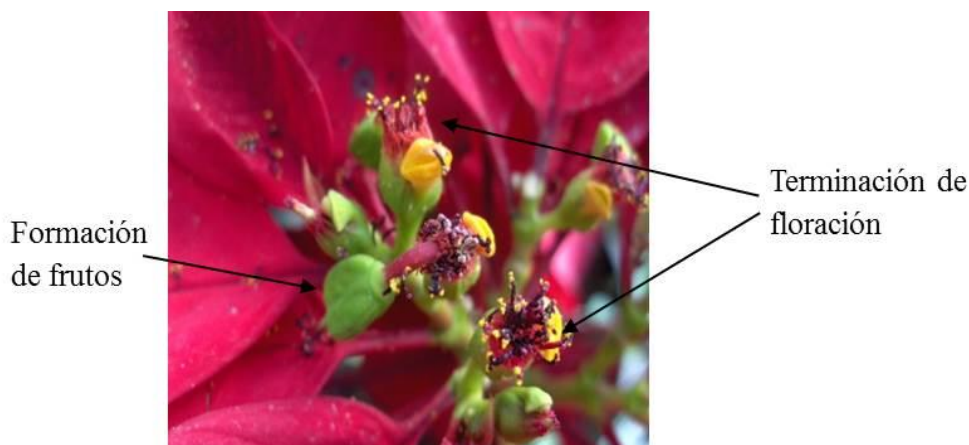


Fig. 10. Estados fenológicos de nochebuena de acuerdo con el código 69 de la BBCH, inicio de senescencia de las flores masculinas y de la formación de frutos.

Estadio principal de crecimiento (escala fenológica BBCH 7)**Formación del fruto (escala fenológica BBCH 70)**

Se observan los primeros frutos. La tasa de amarre de frutos que llegaron a la madurez respecto del número de inflorescencias inicial es de aproximadamente el 10% en las variedades de sol y en las de sombra (fig. 11), con excepción de 'Prestige' y 'Nutcracker white', en las que se desprendieron todos los ciatios, la mayoría de las brácteas y no se observó desarrollo de frutos.



Fig. 11. Estados fenológicos de nochebuena de acuerdo con el código 70 de la BBCH, formación de frutos.

Estadio principal de crecimiento (escala fenológica BBCH 8)**Maduración de frutos y semillas (escala fenológica BBCH 81)**

Los frutos de las variedades de sombra 'Freedom red', 'Ice punch', 'Sonora white glitter', 'Cortez burgundy', se desprendieron de la inflorescencia cuando tenían aproximadamente 7 mm de longitud, por lo anterior, estas variedades no lograron maduración de fruto; lo anterior fue debido a que el embrión abortó en etapa temprana.

La maduración de los frutos en las variedades de sol fue diferente de acuerdo con la variedad y ocurrió entre los 100 y 110 días después de la polinización, durante los meses de marzo y abril. El fruto alcanza el tamaño final en función de la cantidad de óvulos fecundados, hay cambio de color verde a amarillo (variedades de brácteas blancas o crema), verde rojizo a rojo más oscuro (variedades brácteas rojas) y finalmente a café (fig. 12). La abscisión de los frutos maduros ocurre en la base de ovario. Los carpelos se abren y expulsan las semillas. Las semillas de las variedades de brácteas blancas son de color gris, las de brácteas rojas son café oscuro y las de brácteas rosa son de color café claro.



Fig. 12. Estados fenológicos de nochebuena de acuerdo con el código 81 de la BBCH, maduración de frutos y semillas. a) Frutos en proceso de maduración; b) Frutos maduros; c) Semillas de frutos maduros.

Estadio principal de crecimiento (escala fenológica BBCH 9)**Senescencia (escala fenológica BBCH 90)**

En este estadio, se observó la senescencia de hojas y brácteas, y en la planta quedan solo los tallos (fig. 13), que sufren apoptosis en la parte apical, el resto del tallo se mantiene vivo e iniciará la nueva brotación de las yemas laterales en el mes de mayo.



Fig. 13. Estados fenológicos de nochebuena de acuerdo con el código 90 de la BBCH, senescencia de hojas y brácteas. A) Flores y brácteas en senescencia, b) Absición de hojas y flores.

El estudio de la fenología floral permitió conocer los cambios en los órganos involucrados en los eventos que son más importantes para hacer cruzamientos y realizar el mejoramiento genético. Las variedades que pueden fungir como hembras fueron 'Belén', 'Juan Pablo' y 'Amanecer navideño', ya que presentaron mayor número de flores hermafroditas, presentaron desarrollo y maduración de frutos.

Los cortes anatómicos permitieron observar el desarrollo y crecimiento de los ciatios y cómo ocurrieron los diferentes cambios en los meristemos, al inicio de la floración donde se pudo observar el ensanchamiento de los mismos, así como la aparición de los primeros ciatios. En los cortes de los ciatios masculinos se observó cómo ocurrió el desarrollo de las anteras hasta su dehiscencia. En el corte anatómico de los ciatios hermafroditas, se observa la existencia de asincronía en el desarrollo del ovario en comparación con el androceo. Esta asincronía ocurre a nivel de flores hermafroditas, pero la receptividad del estigma de estas flores coincide con la antesis de las flores masculinas del segundo nivel de floración.

Duración de la floración

La duración de la floración es de 74 a 123 días, en función de la variedad, la media fue de 99,9. Existen diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$) en cada una de las etapas fenológicas entre variedades, a excepción de 'Cortez burgundy' y 'Freedom red', en donde, la duración de la floración fue la más larga (123 y 121 días respectivamente). Las primeras yemas florales visibles iniciaron en el mes de octubre y la floración finalizó e inició la formación de frutos en febrero. En contraste, 'Belén' y 'Juan Pablo' tuvieron floración más corta (74 y 80 días, respectivamente), la aparición de yemas florales inició en noviembre y los frutos se empezaron a formar en enero (fig. 14).

Lo anterior se puede deber a que 'Cortez burgundy' y 'Freedom red' son variedades mejoradas y con el mejoramiento genético han logrado mayor duración de la floración para fines comerciales, en cambio las variedades 'Belén' y 'Juan Pablo' son variedades de sol que no han sido mejoradas genéticamente, por lo cual aún se consideran semisilvestres, y conservan su ciclo natural de duración de la floración (más corto que las mejoradas).

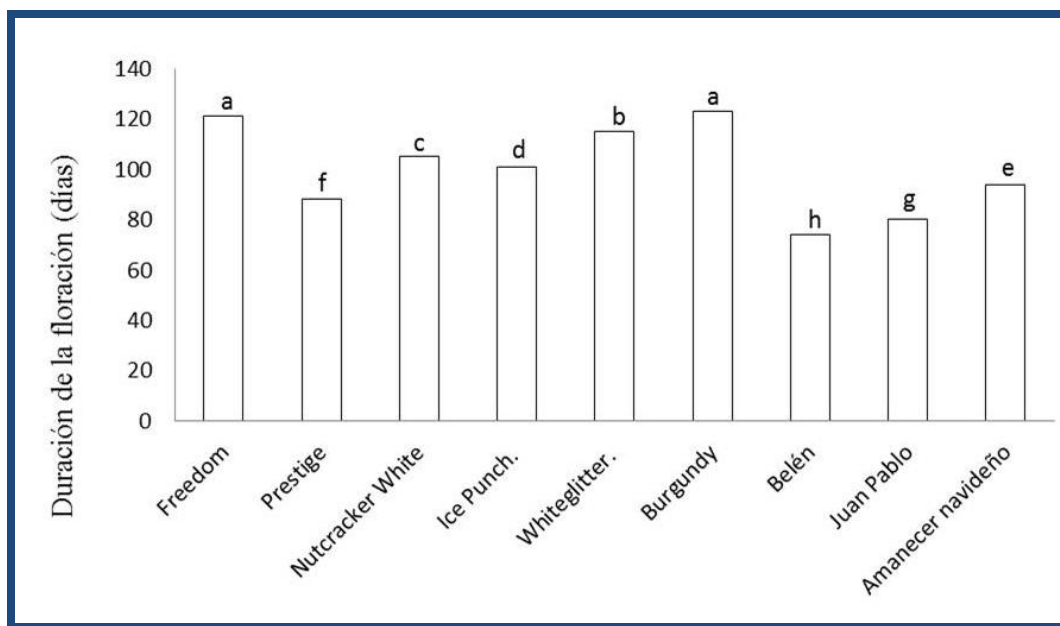


Fig. 14. Duración de la floración de nueve variedades de nochebuena. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $P \leq 0.05$). Diferencia Significativa Mínima = 3.72

Patrón de diferenciación floral

En las nochebuenas de sol se observó que en la parte basal de la inflorescencia se desarrolla un ciatio, el cual es el primer orden de división de la inflorescencia considerada como nivel 1; el segundo y tercer nivel de división ocurren en las fases fenológicas 60 y 62, de la etapa fenológica uno; se desarrollan debido al crecimiento del pedúnculo de los ciatios de estos niveles, quedando el primer nivel de floración en la parte basal de la inflorescencia (fig. 15 b y c).



Fig. 15. Niveles en la nochebuena. a) Esquema de la inflorescencia de *Euphorbia* según Narbona *et al.* (2000), b) Inflorescencia de las variedades de sol, c) Inflorescencia de las variedades de sombra, d) Esquema de inflorescencia de las variedades de sombra.

De acuerdo con Narbona *et al.* (2002), las especies de *Euphorbia* florecen en cimas, las cuales presentan distinto grado de división, de acuerdo con las flores que se van desarrollando con el tiempo, teniendo un orden ascendente, es decir, el primer nivel se desarrolla en la parte basal de la inflorescencia. En la presente investigación, las nochebuenas de sol presentaron el orden de

floración descrito por Narbona *et al.* (2002). En contraste, las variedades de nochebuena de sombra estudiadas en el presente trabajo desarrollaron un orden inverso ya que los niveles florales se desarrollaron de manera descendente (fig. 15c y d).

Con respecto a la inflorescencia Struckmeyer & Beck (1960) describen el desarrollo de las flores en *Euphorbia pulcherrima*. En las variedades de sombra, 'Freedom red', 'Prestige' 'Cortez burgundy' y 'Sonora white glitter' en el primer nivel de floración se desarrolla un ciatio dominante, por el contrario, las variedades 'Ice punch' y 'Nutcracker white' en el primer nivel de floración desarrollaron un grupo de ciatios constituido por tres o cuatro flores.

Las variedades de sombra, a excepción de 'Prestige', siguen un patrón de crecimiento de cuatro niveles de floración cuyo dimorfismo sexual es el siguiente: en el primero y segundo nivel se desarrollaron flores masculinas, en el tercer nivel se desarrollan flores hermafroditas, y en el cuarto nivel se desarrollaron flores femeninas y hermafroditas. En la variedad 'Prestige' solo se desarrollan tres niveles, las flores masculinas se producen en el primer y segundo nivel, mientras que en el tercer nivel se desarrollan flores hermafroditas. Struckmeyer & Beck, (1960) observaron cuatro niveles de floración, al igual que se observaron en las variedades estudiadas (fig. 15), a excepción de 'Prestige', la cual desarrolló solo tres niveles.

CONCLUSIONES

Los resultados permitieron documentar cada etapa de la fenología floral y determinar las fechas y días estimados como el inicio de la etapa reproductiva y/o el de la receptividad del estigma, así como el conocimiento de la maduración de los frutos para poder programar la cosecha. De igual modo, se determinó que las tres variedades de sol, 'Belén', 'Juan Pablo' y 'Amanecer navideño' pueden fungir como hembras, por presentar mayor cantidad de flores hermafroditas y ser las únicas que tuvieron frutos maduros. Los resultados son de utilidad para planificar las acciones de mejoramiento genético; para los productores, proporciona un indicador del punto de venta de acuerdo a las fechas estimadas en el presente estudio.

LITERATURA CITADA

- Borchert, R., Meyer, S. A., Felger, R. S., & Porter-Bolland, L. (2004). Environmental control of flowering periodicity in Costa Rican and Mexican tropical dry forests. *Global Ecology and Biogeography*, 13(5), 409–425. <https://doi.org/10.1111/j.1466-822X.2004.00111.x>
- Bronstein, J. L. (1995). The plant-pollinator landscape. In L. F. & G. M. In: Hansson L (Ed.), *Mosaic landscapes and ecological processes* (pp. 256–288).
- Ecke, P., Faust, J. E., Higgins, A., & Williams, J. (2004). *The Ecke Poinsettia Manual*.
- Elias, S. T., & An-Ci, S. (1985). Morphology and Anatomy of Foliar Nectaries and Associated Leaves in Mallotus (Euphorbiaceae). *Aliso: A Journal of Systematic and Evolutionary Botany*, 11(1), 17–25.
- Gales, R., Toma, C., & Ivanescu, L. (2008). Morphological and Histo-Anatomical Aspects Regarding The Floral Morphogenesis in Euphorbia cyparissias L. (Euphorbia Juss.). *Biologie Vegetală*, 20, 15–23.
- Grueber, K. L. (1985). *Euphorbia pulcherrima*. In: *Handbook of Flowering*.
- Hack, V. H., Bleiholder, H., Buhr, L., Meier, U., Schnock-Fricke, U., Weber, E., & Witzemberger, A. (1992). Einheitliche Codierung der phänologischen Entwicklungsstadien mono- und dikotyler Pflanzen. -Erweiterte BBCH-Skala, Allgemein-. *Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzkd.*, 44(12), 265–270.
- Hayashi, T., Wakahara, Y., & Konishi, K. (1991). Development and Composition of Compound Inflorescence in Poinsettia (*Euphorbia pulcherrima* Willd.). *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, 59(4), 839–845. <https://doi.org/10.2503/jjshs.59.839>

Recibido:
22/enero/2020

Aceptado:
6/noviembre/2020

- Huang, C. H., & Chu, C. (2008). Methods to improve Poinsettia fertility. *Sci. Hortic*, 3, 271–274.
- Ing-Ming, L. (2000). Phytoplasma Casts a Magic Spell that Turns the Fair Poinsettia into a Christmas Showpiece. *Plant Health Progress*, 1(1), 16. <https://doi.org/10.1094/php-2000-0914-01-rv>
- Inouye, S. R. (1991). The ecology of desert communities. In G. A. In: Polis (Ed.), *Population biology of desert annual plants* (pp. 27–54).
- Lieth, H. (1974). *Phenology and seasonality modeling* (Springer-Verlag (ed.)).
- Mantovani, M., Ruschel, A. R., Reis, M. S., Puchalski, A., & Nodari, R. O. (2003). Fenologia reprodutiva de espécies arbóreas em uma formação secundária da floresta Atlântica. *Revista Árvore*, 27(4), 451–458. <https://doi.org/10.1590/s0100-67622003000400005>
- Martinelli, T., Andrzejewska, J., Salis, M., & Sulas, L. (2015). Phenological growth stages of *Silybum marianum* according to the extended BBCH scale. *Annals of Applied Biology*, 166(1), 53–66. <https://doi.org/10.1111/aab.12163>
- McIntosh, M. E. (2002). Flowering phenology and reproductive output in two sister species of *ferocactus* (Cactaceae). *Plant Ecology*, 159(1), 1–13. <https://doi.org/10.1023/A:1015589002987>
- Meier, U., Bleiholder, H., Buhr, L., Feller, C., Hack, H., Heß, M., Lancashire, P. D., Schnock, U., Stauß, R., van den Boom, T., Weber, E., & Zwerger, P. (2009). The BBCH system to coding the phenological growth stages of plants – history and publications –. *Journal Für Kulturpflanzen*, 61(2), 41–52. https://www.zuechtungskunde.de/artikel.dll/meier-et-al_OTAyMjUy.PDF
- Mwine, J., Van Damme, P., Kamoga, G., Kudamba, K., Nasuuna, M., & Jumba, F. (2011). Ethnobotanical survey of pesticidal plants used in South Uganda: Case study of Masaka district. *Journal of Medicinal Plants Research*, 5(7), 1155–1163.
- Narbona, E., Ortiz, P. L., & Arista, M. (2002). Functional Andromonoecy in *Euphorbia* (Euphorbiaceae). *Annals of Botany*, 89(5), 571–577. <https://doi.org/10.1093/aob/mcf099>
- Narbona, E., Ortiz, P. L., & Arista, M. (2011). Linking Self-Incompatibility, Dichogamy, and Flowering Synchrony in Two *Euphorbia* Species: Alternative Mechanisms for Avoiding Self-Fertilization? *PLoS ONE*, 6(6), 1–9. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0020668>
- Ramírez-Bullón, N., Ceroni-Stuva, A., & Castro-Cepero, V. (2014). Fenología De Cuatro Especies De Cactáceas Del Cerro Umamarca. Valle Del Río Chillón. Canta-Lima. Perú. *Ecología Aplicada*, 13(1–2), 177–185. <https://doi.org/10.21704/rea.v13i1-2.468>
- Sharma, M., & Sharma, K. C. (1988). Ontogenic Studies of Shoot Apical Organization in *Poinsettia*. *Flora*, 180(3–4), 267–274. [https://doi.org/10.1016/s0367-2530\(17\)30322-5](https://doi.org/10.1016/s0367-2530(17)30322-5)
- Struckmeyer, B. E., & Beck, G. E. (1960). Flower bud initiation and development in poinsettia (*Euphorbia pulcherrima* Willd). *Proc. Am. Soc. Hortic. Sci.*, 75, 730–738.
- Taylor, M. J., Lopez, G. R., Currey, J. C., & Janick, J. (2011). The Poinsettia: History and Transformation. *Chronica Horticulturae*, 51(3), 23–28.
- Tejera, D. M., & Heaton, A. E. (2017). Description and Codification of *Miscanthus × giganteus* Growth Stages for Phenological Assessment. *Frontiers in Plant Science*, 8(October), 1–12. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01726>
- Torres-Olivar, V., Villegas-Torres, O. G., Valdez-Aguilar, L. A., Alia-Tejagal, I., López-Martínez, V., & Trejo-Téllez, L. I. (2018). Respuesta de la nochebuena (*Euphorbia pulcherrima* Willd. ex Klotzsch) a la relación nitrato:calcio en tres etapas fenológicas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12, 2345. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i12.766>
- Trejo, L., Arroyo, P. F. T., Olsen, K. M., Eguarte, E. L., Arroyo, B., Gruhn, A. J., & Olson, M. E. (2012). Poinsettia's wild ancestor in the Mexican dry tropics: Historical, genetic, and environmental evidence. *American Journal of Botany*, 99(7), 1146–1157. <https://doi.org/10.3732/ajb.1200072>
- Zadoks, J. C., Chang, T. T., & Konzak, C. F. (1974). A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research*, 14, 415–421.