



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
LICENCIATURA EN RECURSOS NATURALES**

***Fenología de dos especies arbóreas nativas
implantadas en el Parque Villarino de la Facultad de
Ciencias Agrarias – UNR (Argentina)***

Tesinista: Julia Gastaudo

Directora: Ing. Agr. Verónica A. Anibalini

Co- directora: Dr. Alejandra S. Coronel

Lugar de trabajo: Facultad de Ciencias Agrarias (UNR)

Zavalla

-2017-

A Cledi, que ya no está, pero siempre marcó y marcará mi camino. Abuela sé que
estarías orgullosa;
a Perla y Horacio.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	5
RESUMEN	6
I. INTRODUCCIÓN	8
I.1. La Fenología: Concepto y Antecedentes	8
I.2. Justificación.....	12
II. OBJETIVOS	13
II.1. Objetivo general	13
II.2. Objetivos Específicos	13
III. HIPÓTESIS	14
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	15
IV.1. Sitio de trabajo	15
IV.2. Material Vegetal	16
IV.3. Estudios Fenológicos	17
IV.3.1. Observaciones fenológicas.....	17
IV.3.2. Determinación de los días calendarios de las fases fenológicas.....	19
IV.3.3. Determinación de la temperatura base de cada fenofase	19
IV.3.4. Cálculo de grados días de cada fenofase	20
IV.4. Estudios Agrometeorológicos.....	20
IV.4.1. Análisis de datos térmicos	20
IV.4.2. Variabilidad interanual de las condiciones agroclimáticas y su relación con el inicio, fin y duración de las fases fenológicas.....	21
V. RESULTADOS	23
V.1. Estudios Fenológicos	23
V.1.1. Observaciones fenológicas.....	23
V.1.2. Determinación de los días calendarios de las fases fenológicas.....	23
V.1.3. Determinación de la temperatura base de cada fenofase	31
V.1.4. Cálculo de grados días de cada fenofase	33
V.2. Estudios Agrometeorológicos.....	34
V.2.1. Análisis de datos térmicos	34
V.2.2. Variabilidad interanual de las condiciones agroclimáticas y su relación con el inicio, fin y duración de las fases fenológicas.....	36
VI. DISCUSIÓN	54
VII. CONCLUSIONES	61
VIII. BIBLIOGRAFÍA	63

IX. ANEXO 70

AGRADECIMIENTOS

-A las autoridades de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Rosario por permitir mi formación.

-A todas las personas que trabajaron por llevar adelante esta licenciatura, dando lo mejor de sí. Gracias por construir esta hermosa carrera que tanto amo.

-A la Ing. Agr. Verónica Anibalini y a la Dra. Alejandra Coronel por la permanente compañía y paciencia durante la realización de esta tesina, y por ser mis modelos a seguir.

-Al Ing. Agr. Emiliano Jozami por la ayuda brindada.

-A los docentes y compañeros de la cátedra de Climatología Agrícola de la FCA por el apoyo y por las ganas con que siempre me incitaban a seguir adelante.

-A mis amigos y compañeros, por los momentos compartidos y por siempre darme ganas de seguir cursando con ellos.

-A Sebastián, por su apoyo constante.

-A mis amigas de toda la vida, por siempre estar a mi lado.

-A mi familia, por estar siempre pendientes de lo que me pasaba y ser mi sostén permanente en esta hermosa etapa. Este logro también es suyo.

RESUMEN

La Fenología es la ciencia que estudia los eventos periódicos naturales que ocurren en los seres vivos incluyendo sus relaciones con los fenómenos meteorológicos. Registra la actividad biológica visible de los organismos y la relaciona con el sistema climático del lugar. En el presente trabajo se modeliza la fenología de *Erythrina crista-galli* L. y *Handroanthus heptaphyllus* (Vell.) Mattos, especies de árboles nativas de Argentina. También se calculan sus requerimientos térmicos (grados días), previa determinación de la temperatura base. Además se revela la relación de las fases fenológicas con la temperatura del aire, la humedad relativa y las horas de frío. El estudio se realizó durante los años 2014, 2015 y 2016, en el Parque Villarino de la Facultad de Ciencias Agrarias de la UNR. Las observaciones se llevaron a cabo en cinco ejemplares de *E. crista-galli* y en tres de *H. heptaphyllus*. Las etapas fenológicas observadas son: brotación, floración, fructificación y caída del follaje. *E. crista-galli* presenta una floración bimodal, siendo el primer episodio el más intenso, con una duración media de 31 días. El segundo evento posee menor intensidad y es más prolongado, durando 57 días en promedio. En *H. heptaphyllus* la etapa de floración se registra antes de que emerjan las hojas, con una duración promedio de 33 días. Para las dos especies, esta fase fenológica es la más acotada. La temperatura es el principal factor que afecta el comportamiento de las fases de floración, brotación y caída del follaje, no así en lo que a fructificación se refiere. Deberían realizarse estudios a futuro que incluyan más años de análisis para obtener información fenológica de calidad. Además, deberían incluirse las variables radiación incidente, fotoperíodo y precipitación a fin de obtener mejores índices bioclimáticos.

Palabras clave: *Erythrina crista-galli*, *Handroanthus heptaphyllus*, bioclimatología, grados día, variabilidad climática.

ABSTRACT

The phenology is the science that studies the natural periodic events that happens in plant and animal life including their relationship with meteorological phenomenons. It records the organism's visible biological activity and relates it with the climatic system of its habitat. In the present work the phenology is modeled for *Erythrina crista-galli* L. and *Handroanthus heptaphyllus* (Vell.) Mattos, two native species in Argentina. Moreover, their thermic requirements are calculated (in degree days), after determining their threshold temperature. In addition, the relationship of the phenological phases with the air temperature, relative humidity and cold hours is assessed. The study was carried out during 2014, 2015 and 2016, in the Villarino Park of the College of Agricultural Sciences of the Rosario National University. The observation was done on five individuals of *E. crista-galli* and three of *H. heptaphyllus*. The phenological phases observed are: sprouting, flowering, fructification and foliage dropping. *E. crista-galli* presents a bimodal flowering, being the first episode the most intensive, with an average duration of 31 days. The second event was less intensive and longer, lasting 57 days on average. In the case of *H. heptaphyllus* the flowering phase was recorded before the leaves emergence, with an average duration of 33 days. For both species, this was the shortest phenological phase. The temperature is the principal factor affecting the behavior of the flowering, sprouting and foliage dropping phases, being meaningless its effect during fructification. More studies should be done in the future including more years of analysis in order to obtain phenological information of quality. Others climate variables like incident radiation, photoperiod and rainfall should be included in order to obtain better bioclimatic indices.

Key words: *Erythrina crista-galli*, *Handroanthus heptaphyllus*, bioclimatology, degree days, climatic variability.

I. INTRODUCCIÓN

I.1. La Fenología: Concepto y Antecedentes

La Fenología, del griego *phaenomenon* (fenómenos) y *logos* (conocimiento), es la ciencia que estudia los eventos periódicos naturales que ocurren en los seres vivos y en los sistemas biológicos, e incluye sus relaciones con los fenómenos meteorológicos (Pascale y Damario, 2013).

Es una ciencia muy antigua, conociéndose registros en la biblia, en el antiguo testamento. El término fenología se cree tuvo su primer uso por el botánico belga Charles Morren en 1958, no obstante, las observaciones de los sucesos fenológicos datan de varios siglos atrás en la antigua China. Sus habitantes fueron quienes desarrollaron los primeros calendarios fenológicos, siglos antes de Jesucristo (De Azkues, 2008). En Japón hace más de 500 años que se estudia la fenología del cerezo, ya que su flor es la flor nacional del país. Linneo, en el siglo XVIII, describió a esta ciencia en su obra “*Phylosophia Naturae*”, enfatizando su utilización e importancia.

De Fina y Ravelo (1973) consideraron a la Fenología como una rama de la Ecología y al ser ésta un método auxiliar, también puede ser ubicada con la Botánica, la Zoología o la Fisiología. En la actualidad es más apropiado ubicar a la Fenología dentro de la Bioclimatología, dado que ésta es una disciplina con fundamentos y metodología propios, así como con objetivos definidos. Por lo tanto la Fenología forma parte de la Bioclimatología, la cual se ocupa de la influencia del complejo climático sobre los organismos vivos (Pascale y Damario, 2013). El registro del comportamiento fenológico proporciona una valiosa fuente documental de los procesos biológicos en los seres vivos y constituye un apoyo al método de estudio bioclimático.

La fenología se basa en el registro de la actividad biológica visible de los organismos y relaciona este aspecto con el complejo climático del lugar (Garabatos, 1990). De esta manera, el comportamiento de una especie está determinado por la ocurrencia de las fases fenológicas como consecuencia de los estímulos de los elementos del clima, tales como temperatura, precipitación, radiación, heladas, etc. (Prause y Angeloni, 2000). Pero no sólo este patrón condiciona la periodicidad biológica de los seres vivos, sino también las interacciones bióticas, los factores endógenos y las relaciones filogenéticas con otras especies (Williams y Meave, 2002).

Según García *et al.* (2013), la fenología es el arte de subdividir el desarrollo de los seres vivos en fracciones del ciclo de vida de éstos, identificables a lo largo del tiempo. Estas fracciones se denominan fenofases o fases fenológicas, y hacen referencia a la aparición o desaparición de los órganos vegetales. Éstas expresan las reacciones biológicas de las plantas ante los estímulos de las variaciones del ambiente meteorológico. Se utilizan para estudiar el desarrollo del ciclo de los organismos. La ocurrencia de las mismas está determinada por las características bióticas de las especies vegetales y por las particularidades del clima local.

La fenología de las plantas está fuertemente controlada por el clima, resultando uno de los bioindicadores más fiables del cambio climático actual (Gordo y Sanz, 2005). El calentamiento global está provocando modificaciones en la distribución geográfica y en la fenología de muchas especies. Ello puede provocar cambios en la composición y la dinámica de los ecosistemas, y en los bienes y servicios que éstos proporcionan (Gutiérrez y Picatoste, 2012 citado por Hernández Aroca, 2012). Los estudios fenológicos constituyen un método efectivo para conocer la relación entre la variabilidad climática y el comportamiento de las plantas, así como los posibles efectos que en ellas puedan provocar las modificaciones actuales y futuras del clima (Spano *et al.*, 1999).

Esta ciencia no sólo es aplicable para estudiar los cambios cíclicos que ocurren en los vegetales, sino que también es muy utilizada para conocer puntos críticos en los ciclos biológicos de los animales. Como es el caso de los insectos perjudiciales de los cultivos comerciales. Conocer la época de emergencia de las larvas de *Anticarsia gemmatalis* (Hubner) y *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith), plagas típicas del cultivo de soja y maíz respectivamente, en nuestra zona, permite emprender estrategias de control de plagas con anterioridad a que éstas aparezcan. Además, saber si debido a las variaciones climáticas los episodios de explosión poblacional se adelantan, es de vital importancia para poder prevenir desastres a tiempo y asegurar la prosperidad de los cultivos.

La fenología en animales se utiliza, además, para estudiar patrones de movimientos de las aves migratorias, mediante el registro de las fechas de arribo y partida a los puntos de parada. Por otro lado, se emplea para saber la época de cambio de pelaje en los mamíferos de las altas latitudes. Conocer estas cuestiones ayuda a comprender las interacciones con otras especies, como por ejemplo la predación.

El cambio climático está afectando estos estándares naturales de las especies, siendo el estudio de esta ciencia un buen indicador para comprender los cambios que están sufriendo estos patrones.

En este contexto las observaciones fenológicas sobre vegetación natural, realizadas sistemáticamente durante varios años y analizadas correctamente en función de las variables meteorológicas, son capaces de revelar características climatológicas regionales (Bertossi *et al.*, 2010).

Las plantas perennes se distinguen de otras en su capacidad de suspender y retomar el crecimiento siguiente, en respuesta a condiciones ambientales estacionales. La posibilidad de formar yemas y experimentar ciclos de crecimiento y dormancia se considera una adaptación evolutiva muy importante (Rohde y Bhalerao, 2007).

Muchas especies arbóreas caducifolias, durante la fase de reposo invernal, poseen un requerimiento de frío con temperaturas ligeramente por encima o por debajo de su cero vital, que si no se satisface repercute desfavorablemente en el comportamiento fásico posterior (Chaar y Astorga, 2012).

Durante el período de reposo por acción del frío, ocurren cambios dentro de las yemas preformadas en el verano anterior y la transformación de ciertas sustancias inhibitoras en activadoras del crecimiento (Samish, 1954 citado por Murphy y Hurtado, 2013).

La falta de frío invernal suficiente para el cumplimiento de la etapa de descanso no solamente se presenta en las áreas geográficas con inviernos templados o cálidos, sino que también afecta a regiones donde los inviernos aun siendo fríos, no muestran una continuidad absoluta de las bajas temperaturas, o son acompañados por condiciones que reducen su efecto enfriante como por ejemplo: vientos y lluvias intensas, gran amplitud térmica diaria, intensidad lumínica inadecuada, etc. (Pascale y Damario, 2013).

Bertossi *et al.* (2010) trabajaron con especies del género *Populus* en el noroeste de la Patagonia argentina, encontrando que existe una correlación importante entre el ciclo vegetativo de estos árboles con la temperatura máxima, la velocidad del viento y las lluvias. También obtuvieron una relación significativa entre las fases fenológicas foliares con la temperatura y con las diferencias que se dan durante los meses del año. Peñuelas *et al.* (2004) han llevado a cabo estudios en España, en la zona de Cataluña, donde se ha evidenciado que la aparición de las hojas se adelanta en una media de 20 días respecto de unos 50 años atrás. Casos concretos como el manzano, el olmo o la

higuera mostraron la emergencia de las hojas con un mes de adelanto, y para almendro, unos 15 días antes. Aunque otras especies, como el castaño, parecen inmutables al cambio de temperatura, ya que se cree que son más dependientes de otros factores como el fotoperiodo o la disponibilidad hídrica.

Estudios en la fenología floral de diferentes clones de *Nothofagus alpina* (P. et E.) Oerst. con genotipos variantes de acuerdo al gradiente altitudinal, ponen de manifiesto que existen diferencias significativas en el comienzo y fin de la brotación, la floración y la fructificación. Esta variabilidad indica que los clones tienen muy bajas probabilidades de producir un cruzamiento efectivo (García *et al.*, 2013).

Alencar *et al.* (1979), registraron datos fenológicos por varios años para un gran número de especies arbóreas en Manaos, Brasil, con el objetivo de determinar la mejor época para coleccionar semillas de cada especie.

Por otro lado, Martín *et al.* (1997) consideran que el conocimiento de las épocas y duración de las fases de floración y fructificación de las leñosas nativas del Chaco Semiárido, podría contribuir a la mejor diagramación de estrategias, tácticas y momentos oportunos de ramoneo para estas asociaciones vegetales.

La mayoría de los estudios fenológicos realizados en bosques húmedos neotropicales se basan, única y detalladamente, en la fenología reproductiva. Esto se debe a que el conocimiento de los ritmos de producción de flores y frutos es fundamental para entender las relaciones entre las plantas y los animales que dependen de ellas (Williams y Meave, 2002).

Diferentes trabajos realizados en el campo de la fenología (Alencar, 1994; Wright y Van Schaik, 1994; García *et al.*, 2013), no se limitan sólo a describir patrones fenológicos, sino que además se dirigen hacia una búsqueda de las causas de estos modelos observados.

El estudio de la fenología de especies arbóreas de interés comercial permite planificar la actividad forestal y ornamental, tanto en parques, como en jardines y huertos. Esto se realiza mediante la preparación de almácigos, poda, tala, control de plagas, entre otros.

I.2. Justificación

Considerando que en Argentina los registros fenológicos existentes de flora nativa son escasos como así también el estudio de las variaciones de las fases fenológicas en función de los fenómenos meteorológicos locales; y teniendo en cuenta que los estudios fenológicos tienen gran trascendencia tanto para el entendimiento de la dinámica de los ecosistemas como de los procesos evolutivos en regiones templadas, se decidió estudiar el efecto que tienen la temperatura del aire y la humedad relativa sobre dos especies de árboles autóctonos de nuestro país: *Erythrina crista-galli* L. y *Handroanthus heptaphyllus* (Vell.) Mattos.

Es sabido que las fases fenológicas de las especies vegetales presentan diferentes respuestas a los elementos bioclimáticos. Así hay muchas de ellas cuya floración u otra fenofase está controlada por la temperatura del aire (suma térmica, horas de frío) mientras que para otras el fotoperiodo es determinante, e incluso existen algunas especies para las cuales la disponibilidad de agua es el factor desencadenante de un determinado evento fenológico. Sin embargo, se ha comprobado que es la temperatura el principal elemento climático que afecta la fenología de las plantas, pues influye tanto en su crecimiento como desarrollo, necesarios para cumplir su ciclo ontológico, y se sabe también que incrementos en la temperatura del aire pueden ser detectados fácilmente mediante los datos fenológicos de las especies vegetales. En tanto el fotoperiodo tiene un peso relativo ya que no influye en la mayoría de las especies en todo su bioperíodo.

Por otro lado la intensidad de la radiación incidente está directamente relacionada con la temperatura en cuanto a su influencia en la duración de una fase o sub-período. Sin embargo, conocer la cantidad de energía incidente por día aportaría información de la fase de crecimiento de las especies. En el presente estudio la intensidad de la radiación no se ha tenido en cuenta debido a la falta de instrumental para su medición.

Esta investigación busca contribuir al conocimiento sobre nuestra flora nativa con fines ornamentales, forestales y de conservación; además de sentar bases para estudios biometeorológicos posteriores.

II. OBJETIVOS

II.1. Objetivo general

Determinar la duración de las fases fenológicas de dos especies leñosas nativas en el Campo Experimental de la Facultad de Ciencias Agrarias (UNR) y sus respuestas a la temperatura y humedad relativa del aire.

II.2. Objetivos Específicos

- Calcular la duración de las fenofases de *Erythrina crista-galli* y *Handroanthus heptaphyllus* en días calendarios, así como las fechas de inicio, plenitud y finalización de cada una.
- Determinar la temperatura base de cada especie.
- Calcular los grados días o tiempo térmico requeridos para que se cumplan las diferentes etapas fenológicas.
- Comparar las temperaturas medidas en la Estación Agrometeorológica con las registradas debajo de la cubierta arbórea.
- Identificar las relaciones entre parámetros meteorológicos y sus anomalías con las etapas fenológicas de brotación, floración, fructificación y caída del follaje.

III. HIPÓTESIS

1. La temperatura del aire es el principal factor que afecta la aparición y desaparición de órganos en las plantas.
2. Para ambas especies, la fase fenológica de floración ocurre durante la época del año en que las temperaturas del aire comienzan a ascender y los días comienzan a alargarse.
3. La fase fenológica de fructificación, para las dos especies, acumula calor a partir de los 20°C.
4. La acumulación de horas de frío define la ocurrencia de las fases de floración y fructificación.
5. La variabilidad climática interanual de la temperatura del aire afecta la duración de las fases fenológicas.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

IV.1. Sitio de trabajo

El trabajo de tesina se desarrolló en el Campo Experimental “José F. Villarino” de la Facultad de Ciencias Agrarias (FCA) de la Universidad Nacional de Rosario (UNR) en la localidad de Zavalla, Santa Fe. Está ubicado a 33° 01’ de latitud sur y 60° 53’ de longitud oeste, en dirección sur-suroeste de la localidad de Rosario.

Este sitio fue declarado Área Protegida del Paisaje Cultural de la UNR, por Resolución CD N° 459/11 del 28 de septiembre del año 2011 y se ratificó por Resolución CS N° 890/12 del 28 de noviembre del año 2012. Dadas las características del área, las actividades deberían estar dirigidas a mantener la calidad del paisaje, mediante planes de ordenamiento adecuado (Molinari *et al.*, 2016).

El predio está anclado en la ecorregión pampeana. El parque consta de 100 hectáreas y se denomina “José Félix Villarino” en honor al padre de quien donó el área.

El tipo de suelo corresponde a la Serie Roldán (Argiudol vértico, fina, illítica, térmica). Presenta la siguiente composición y espesor de los horizontes: A₁₁ 0-15 cm; A₁₂ 15-18 cm; B₁ 28-40 cm; B_{21t} 40-90 cm; B_{22t} 90-140 cm; B₃ 140-185 cm; C de 185 cm a mayor profundidad (INTA, 1988).

La localidad pertenece al régimen de precipitaciones semi-monzónico, con un total anual que varía entre 678 a 1338 mm, siendo la media de 990 mm. La temperatura media promedio es de 17°C. El período medio de heladas abarca desde principios de junio hasta principios de septiembre con un desvío de 20 días, resultando el período libre de heladas de 275 días (Sacchi *et al.*, 2002; Coronel *et al.*, 2012).

El Parque “José F. Villarino” constituye un reservorio regional de biodiversidad tanto en flora como en fauna. Están representadas alrededor de 160 especies que corresponden a 47 familias botánicas y conviven especies de distinto origen geográfico: plantas nativas y exóticas (García *et al.*, 2003). Este excepcional hábitat es sitio de esparcimiento frecuentado tanto por la comunidad del lugar como también por la de las ciudades vecinas.

IV.2. Material Vegetal

Las especies arbóreas utilizadas como unidades experimentales en el presente estudio fueron: y *Erythrina crista-galli* “ceibo” y *Handroanthus heptaphyllus* “lapacho rosado”.

Erythrina crista-galli es una especie arbórea nativa, cuya flor es considerada la flor nacional de Argentina y Uruguay. Pertenece a la subfamilia Papilonoideae, familia Fabaceae, dentro del orden Fabales, según APG IV (Cole *et al.*, 2016). Es un árbol erecto, de madera dura de hasta 10 metros de altura. Las hojas son pinnado-trifoliadas, alternas, estipuladas y deciduas; folíolos ovalados. Flores rojas, perfectas, dispuestas en pseudoracimos largos, foliosos y terminales. Cáliz rojo brillante, campanulado, con pubescencia dispersa de tricomas simples. Vexilo anchamente obovado a orbicular. Quilla roja brillante. Androceo con nueve estambres soldados y el décimo, menor y opuesto a la quilla. El fruto es una legumbre dehiscente, subleñosa, coriácea o cartácea, curvada, sobre un carpóforo más o menos largo, con el cáliz persistente, que puede ser uni o pluriseminada (Lozano y Zapater, 2010). La especie es polinizada principalmente por aves Passeriformes y por picaflores. Así mismo, existe evidencia de polinización entomófila (Galletto *et al.*, 2000). Habita principalmente desde el noreste argentino hasta Buenos Aires, también en el sur de Brasil, Paraguay, Uruguay y este de Bolivia. En el noroeste se halla muy pobremente representada, formando poblaciones puras de tamaño reducido. Crece en márgenes de cursos de agua y áreas inundables donde constituye poblaciones importantes. Se encuentra frecuentemente cultivada en plazas y parques de todo el país.

Handroanthus heptaphyllus pertenece a la familia Bignoniaceae, del orden Lamiales según APG IV (Cole *et al.*, 2016). Árbol nativo de hasta 20-30 metros de altura, de tronco largo, cilíndrico y majestuoso. La corteza es color castaño grisácea, lisa o con surcos longitudinales y transversales, salpicada con numerosas y pequeñas lenticelas. Hojas palmaticompuestas con cinco a siete folíolos de borde aserrado. Puede haber tricomas simples en la lámina, estrellados y dendroides. Inflorescencia paniculada con hasta 40 flores. Corola rosada con pubescencia externa densa de tricomas ramificados. El cáliz es campanulado o tubular con cinco lóbulos irregulares, con abundante presencia de tricomas. Androceo con estambres didínamos. Ovario súpero bilocular, plurióvulado, fusiforme. El fruto es una cápsula cilíndrica larga, pardo oscura, glabra,

con dehiscencia longitudinal. Semillas aladas con embrión castaño (Lozano y Zapater, 2008). Torretta y Cerino (2013) estudiaron los visitantes y polinizadores de esta especie encontrando que, en su mayoría, las flores son visitadas por insectos del orden Hymenóptera, seguidos por Díptera, Lepidóptera y Coleóptera; además registraron dos especies de picaflores. Su distribución natural incluye este de la provincia de Formosa y Chaco, noreste de Santa Fe y Entre Ríos, y gran parte de Corrientes y Misiones. Se encuentra asociada a áreas fluviales de los ríos Paraná, Uruguay y Paraguay, en menor medida a cursos menores y a zonas con alta humedad (Zapater *et al.*, 2009). Es una especie muy cultivada en el centro y norte del país, pudiéndose encontrar ornamentando las calles de las ciudades y pueblos. Su madera es utilizada para construcción y se le atribuyen propiedades medicinales a su corteza.

Todos los ejemplares fueron georreferenciados con un GPS marca GARMIN. Se eligieron aquellos cuyas fases no se vieron afectadas por riego ni fertilizaciones o cercanía de edificios ya que ello podría alterar la dirección del viento y la llegada de la radiación (ver Anexos, Figura A.1).

IV.3. Estudios Fenológicos

IV.3.1. Observaciones fenológicas

Las observaciones fenológicas comenzaron a realizarse en el mes de septiembre del año 2014 y finalizaron en el mes de agosto de 2016.

Se usó el Registro Fitofenológico Integral (Ledesma, 1953) cuya metodología consiste en el registro de todos los órganos visibles del ejemplar al momento de la observación. Se hicieron adaptaciones particulares, conforme a los objetivos perseguidos. La planilla modelo utilizada para la toma de datos a campo se puede ver en la sección Anexos, Tabla A.1.

Las observaciones fenológicas se efectuaron dos veces por semana durante los meses de octubre, noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo; y una vez por semana durante los meses en los cuales los cambios ocurrían con mayor lentitud, es decir, abril, mayo, junio, julio, agosto y septiembre. Las fases fenológicas observadas fueron: brotación, floración, fructificación y caída del follaje (Gastardo y Anibalini, 2015). En

cada observación se anotó la fecha, el horario y la temperatura bajo la cubierta arbórea. De cada ejemplar, se registró el estado fenológico y la intensidad de la fase observada. Se consideró el inicio de cada fase fenológica cuando el 20% de la planta se encontró en esa etapa. El 50% representó la plenitud y se estableció el fin de la fase cuando todo el árbol presentó el 80% de los órganos correspondientes a la etapa observada. La intensidad de la fase se determinó como la inversa del tiempo, en días, que transcurre entre el inicio y la plenitud de la misma.

El inicio de la floración, se registró cuando el árbol observado presentaba 20% de pimpollos florales ensanchados visibles. La plenitud cuando el 50% de la planta poseía flores abiertas visibles y el final se consideró cuando las flores ocupaban el 80% de la copa del ejemplar bajo observación.

Para la brotación, se consideró que la fase comenzaba cuando la planta presentaba brotes verdes visibles en un 20%. La plenitud se registró cuando el árbol mostraba hojas verdes completamente expandidas en un 50% de la copa. Lo mismo para considerar el final de la etapa pero con un valor porcentual de 80.

La fase de fructificación, comenzaba cuando se observaban frutos inmaduros en un 20%. La presencia de frutos maduros en un 50% representaba la plenitud de la fenofase y el 80% de frutos maduros contabilizando tanto cerrados como abiertos hacía referencia a la declinación de la etapa.

Cuando la planta no mostraba cambios morfológicos, se registró 'inactividad' en la casilla correspondiente.

Se seleccionaron cinco ejemplares de *E. crista-galli* y tres de *H. heptaphyllus*. El número de ejemplares corresponde a los propuestos por Pascale y Damario (2004) y Cáceres *et al.* (2010), que sostienen que para obtener promedios fenológicos correctos es suficiente observar de tres a cinco ejemplares de árboles que presenten las mismas características. Los criterios que se tuvieron en cuenta para su elección fueron:

- individuos de edad media,
- con buena sanidad y poda de práctica en el lugar,
- ejemplares normales, sin traumatismos que marquen un desarrollo deficitario,
- buena exposición a la luz.

IV.3.2. Determinación de los días calendarios de las fases fenológicas

Con los datos obtenidos de las distintas fases durante los dos años de observaciones se determinó el comienzo y finalización de cada una con su correspondiente desvío. También se expresó la duración media de cada fase con su desvío estándar en días calendarios, para cada especie (Martín *et al.*, 1997).

IV.3.3. Determinación de la temperatura base de cada fenofase

La temperatura base (Tb), es la temperatura inicial de crecimiento distinta y propia de cada especie. Es diferente a la temperatura que corresponde al cero de crecimiento mínimo.

Desde el punto de vista estadístico, la Tb se calculó mediante la aplicación de dos métodos: el de *menor coeficiente de variabilidad* y el de *intercepción de la equis* (Arnold, 1959; Spano *et al.*, 1999), que son los más utilizados para calcular la Tb en los cultivos.

El método del menor coeficiente de variabilidad consiste en computar la suma de las temperaturas residuales, para las correspondientes fenofases, sobre varios niveles térmicos escalonados a partir de los 0°C y calcular la desviación estándar y el coeficiente de variabilidad de cada nivel. Aquel nivel que muestre menor variabilidad en las sumas para cada fase analizada, será la Tb a utilizar (Pascale y Damario, 2004). Al aplicar este método se utilizaron, para cada fenofase, los datos de duración de las etapas de todos los individuos bajo estudio de cada especie y las temperaturas medias diarias.

El método de intercepción de las equis es un procedimiento gráfico que consiste en puntear sobre un eje de coordenadas la velocidad de desarrollo en ordenadas y las temperaturas medias en abscisas, ambas correspondientes a cada una de las épocas de ocurrencia de las fenofases y, para mayor exactitud, como promedios de más de un año de observación. La velocidad de desarrollo es la inversa del número de días que dura cada fase fenológica. Aplicando la fórmula producto de esa gráfica se obtiene la Tb.

IV.3.4. Cálculo de grados días de cada fenofase

La temperatura del aire es una medida aceptable de la disponibilidad calórica ambiental y por ende, el cumplimiento o la intensidad de muchas de las funciones vitales de los organismos vivos se expresan por su relación con las temperaturas actuantes. El calor tiene una acción aditiva en el desarrollo de las plantas, esto quiere decir, que para cumplir su ciclo, cada especie requiere que las temperaturas medias diarias alcancen a totalizar la cantidad requerida. Esto se conoce como *método directo de sumas de temperaturas* (Damario, 1985). Al incluirse a este método el concepto de T_b , se obtuvo la suma de grados días (GD) o suma de unidades calóricas o tiempo térmico.

Se calculó el tiempo térmico o GD en las distintas fases fenológicas a través del método residual (Arnold, 1960; Damario y Pascale, 1971; Castillo y Santibañez, 1987; McMaster y Wilhelm, 1997; Sadras *et al.*, 2000; Confalone *et al.*, 2010; Agüero *et al.*, 2011). El método consiste en la sumatoria de las diferencias entre la temperatura media diaria y la temperatura base para todos los días en que duró la fase en estudio. Los grados días así obtenidos corresponden a los que requiere la planta para cumplir una determinada etapa. La fórmula utilizada fue la siguiente:

$$GD = \sum (T_m - T_b) \times n$$

Siendo:

- T_m : Temperatura media
- T_b : Temperatura base
- n : número de días que duró la fase

IV.4. Estudios Agrometeorológicos

IV.4.1. Análisis de datos térmicos

Para obtener los datos térmicos debajo de la cubierta arbórea se utilizó un termómetro de mercurio patrón, previamente calibrado. Los registros corresponden al día y horario de las observaciones fenológicas. Estos datos se compararon con los registrados en la Estación Agrometeorológica Convencional de la FCA a la misma hora, aproximadamente, mediante análisis de regresión lineal.

IV.4.2. Variabilidad interanual de las condiciones agroclimáticas y su relación con el inicio, fin y duración de las fases fenológicas

Según el Grupo Intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático (2001), IPCC por sus siglas en inglés, la variabilidad climática se refiere a las variaciones en el estado medio del clima en todas las escalas temporales y espaciales. La variabilidad puede darse debido a procesos naturales o a variaciones de origen antropogénico.

La variabilidad climática hace alusión a las oscilaciones en el clima durante períodos de tiempo relativamente cortos. Durante un año específico, se registran valores por encima o por debajo de los datos estándar. La diferencia entre el valor registrado de una variable en particular y su promedio histórico es la anomalía. La secuencia de las fluctuaciones en los diferentes años sobre los valores normales es lo que se conoce como variabilidad climática. Se la puede evaluar a través de las anomalías (Montealegre y Pabón, 2000).

Existen diferentes escalas temporales y espaciales donde se puede evaluar la variabilidad del clima. Para poder comparar los cambios ocurridos en los dos años de observación, en todas las fenofases, se utilizó la variabilidad interanual.

Las variables climáticas que se relacionaron con el inicio, duración y fin de las fenofases fueron:

- Temperatura media (°C)
- Humedad relativa (%)
- Horas de frío (hs).

Los valores de temperatura media y humedad relativa corresponden a los datos diarios obtenidos de la Estación Agrometeorológica de la FCA. También se relacionó la marcha anual de dichas variables, en los años evaluados, respecto a la marcha histórica de las mismas.

Para el caso puntual de la fase de fructificación de ambas especies, se decidió analizar si existe relación con la temperatura del aire acumulada antes del inicio de la fase. De este modo, se evaluó el subperíodo floración-fructificación, es decir, se tomaron las fechas de plenitud de una fase a plenitud de la otra.

Las horas de frío (HF) se refieren a la suma de horas consecutivas en que la planta está sujeta a temperaturas iguales o inferiores a 7 °C durante el período de descanso o latencia. Este valor surge de experimentos hechos en ramas de durazneros y manzanos, como resultado de que al descender la temperatura por debajo de 7°C, su crecimiento cesa (Nightingale y Blake, 1934; Chaar y Astorga, 2012). Las especies arbóreas que presentan exigencias de frío son caducifolias durante el período anual de descanso, en el cual deben satisfacer la dosis de enfriamiento que necesitan para poder romper la inactividad vegetativa invernal y cumplir adecuadamente la siguiente etapa. Estas exigencias de enfriamiento se cuantifican mediante un índice biometeorológico conocido como “horas de frío” (Pascale y Ruggiero, 1963). La acumulación de HF posibilita los cambios fisiológicos responsables de la floración y fructificación normales de las plantas. Las HF acumuladas se calcularon a partir de los registros horarios diarios de temperaturas de la Estación Agrometeorológica de la FCA, en el período correspondiente a cada receso invernal.

Se realizó un análisis descriptivo de la relación entre estas variables y la duración de las fases, como así también respecto a sus fechas de inicio y finalización.

Por último, a fin de determinar estadísticamente la relación entre la duración de cada fenofase con la temperatura del aire, se calcularon los coeficientes de correlación de Pearson (r) y su significancia estadística, y los coeficientes de determinación (R^2).

V. RESULTADOS

V.1. Estudios Fenológicos

V.1.1. Observaciones fenológicas

V.1.2. Determinación de los días calendarios de las fases fenológicas.

A continuación se detalla la ubicación georreferenciada de los ocho árboles bajo estudio, llamándose "C" a los ejemplares de *Erythrina crista-galli* y "L" a los ejemplares de *Handroanthus heptaphyllus*, seguido de un número arábigo para identificarlos:

- **C1** (33°01'36,43"S- 60°53'20,73"O)
- **C2** (33°01'35,97"S- 60°53'20,50"O)
- **C3** (33°01'36,14"S- 60°53'21,47"O)
- **C4** (33°01'36,21"S- 60°53'21,22"O)
- **C5** (33°01'36,15"S- 60°53'20,97"O)
- **L1** (33°01'51,29"S- 60°53'19,36"O)
- **L2** (33°01'51,40"S- 60°53'18,75"O)
- **L3** (33°01'51,54"S- 60°53'19,23"O)

En la Figura 1 se muestra la duración y sus correspondientes inicios y culminación de las fases de floración, brotación, fructificación y caída del follaje; para cada ejemplar de *E. crista-galli*. Las mismas se obtuvieron como promedio de dos años de observaciones.

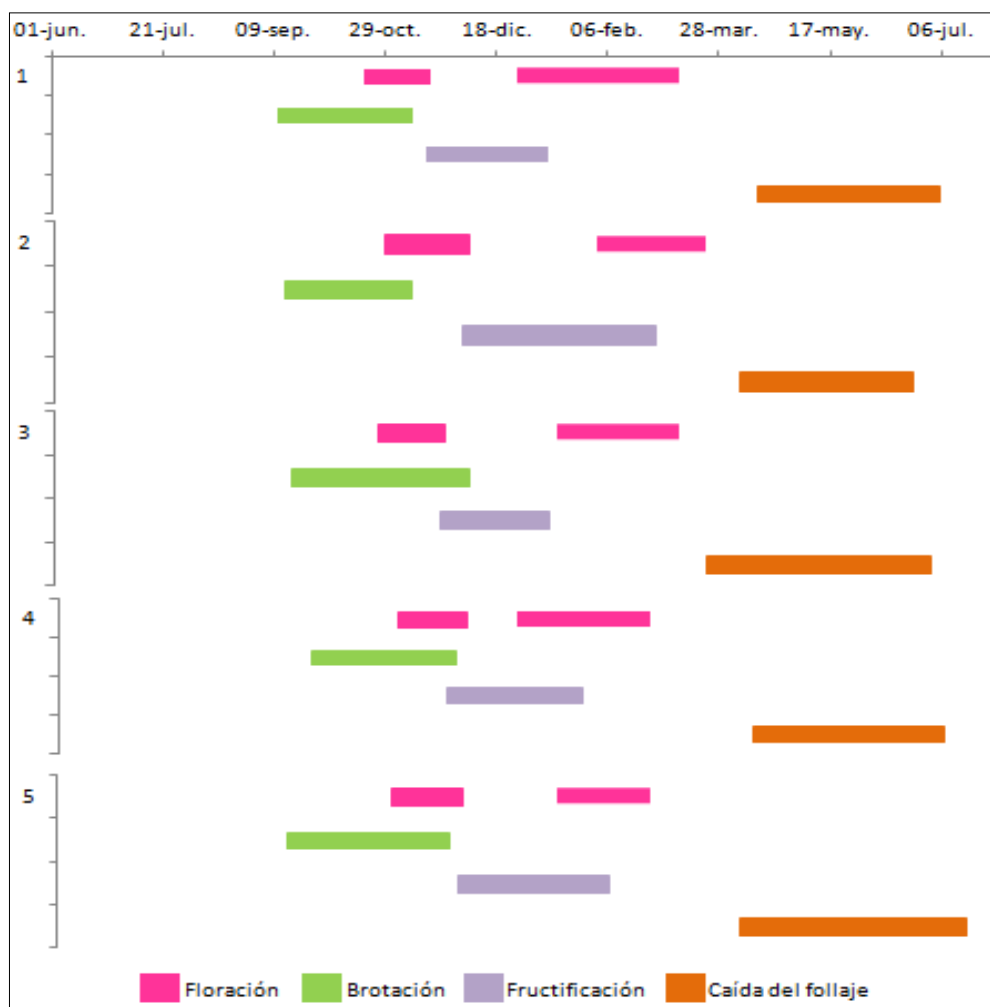


Figura 1. Inicio y finalización de las fases en los cinco ejemplares de *Erythrina crista-galli*.

La primera fase fenológica observada para esta especie es brotación (Figura 2). La fecha media para el inicio de la misma fue el 10 de septiembre con un desvío de 4 días. Una particularidad que se observó en los cinco árboles estudiados fue que entre finales de diciembre y principios de enero presentaron una cantidad considerable de nuevos brotes apicales. En el caso de dos de los árboles (C2 y C5), este nuevo episodio de brotación se presentó en los dos años de muestreo, no así con los demás árboles, donde sólo se registró en un año. En C1 sólo en el segundo año y en C3 y C4 los brotes aparecieron sólo en el primer año de toma de datos.



Figura 2. Primeros brotes de un ejemplar de *Erythrina crista-galli*.

Los siguientes órganos en aparecer fueron las flores. *Erythrina crista-galli* presentó dos episodios de floración: la primera o principal y una segunda o adicional. Los cinco ejemplares estudiados exhibieron este segundo episodio de floración en los dos años de observaciones. La floración principal comenzó el 21 de octubre, con un desvío de 1 día, según los promedios calculados. Este primer episodio estuvo concentrado en el tiempo, con una duración media de 31 días y alta intensidad, pudiéndose observar los árboles totalmente cubiertos de flores (Figura 3). Sin embargo fue la fenofase más corta (Figura 1).



Figura 3. Floración en *Erythrina crista-galli*.

El segundo pico de floración se inició entre fines de diciembre - principios de enero, cuando las temperaturas eran elevadas. La fecha media para este episodio de floración fue el 6 de enero con una desviación de 18 días. Respecto al primer episodio, presentó mayor variabilidad en las fechas de inicio, mayor duración y menor intensidad (Tabla 1). Progresivamente la floración termina, comienza la fase de fructificación. Se observó formación de legumbres en ambos episodios de floración. La fecha media de inicio de fase fue el 17 de noviembre con un desvío de 5 días. Sólo un ejemplar (C1) presentó un segundo episodio marcado de fructificación, donde se observó cómo se empezaban a formar nuevos frutos cuando los demás ya se encontraban en etapa de maduración. Sin embargo, el resto de los árboles mostraron una larga permanencia de esta etapa fenológica (62 días en promedio), extendiéndose hasta febrero en algunos casos. La fecha media de finalización fue el 18 de enero con una desviación de 5 días. En *E. crista-galli* coexisten frutos maduros abiertos y cerrados (Figura 4).



Figura 4. Legumbres y semillas de *Erythrina crista-galli*.

La caída del follaje comenzó en otoño. La fecha media en que las hojas empezaron a caer fue el 24 de marzo con un desvío de 12 días. La culminación de la fase se registró

en promedio para el 18 de mayo con una desviación de 11 días. Durante los meses de junio, julio y agosto los árboles se encontraron totalmente despojados de hojas.

Los días de duración de cada fase observada para *E. crista-galli*, con sus correspondientes desvíos estándar se muestran en la Tabla 1. Así como las fechas promedio de inicio, plenitud y fin de fase.

Tabla 3. Periodos promedios de las fases fenológicas de *E. crista-galli*.

	Brotación	Floración		Fructificación	Caída del follaje
		Principal	Adicional		
Inicio- Fin	10/09- 12/11	21/10- 20/11	06/01- 09/03	17/11- 18/01	24/03- 18/04
Plenitud	07/10	05/11	25/01	10/12	09/05
Duración (días)	63	31	57	62	86
Desvío (días)	11	3	18	14	10

En la Figura 5 se muestran las fechas de inicio y fin de las cuatro fases para cada ejemplar de *H. heptaphyllus* así como la duración de cada una de ellas. Las mismas se obtuvieron del promedio de dos años de observaciones, excepto para la etapa de floración y fructificación del ejemplar L3 ya que durante el primer año se registró una muy baja a casi nula intensidad de las mismas.

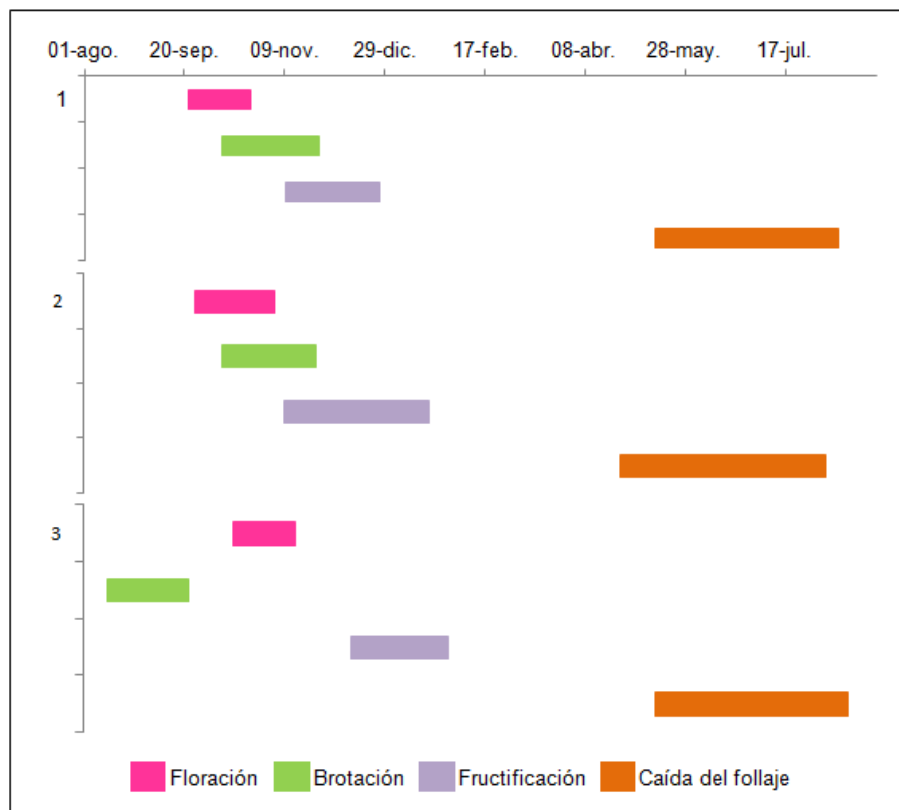


Figura 5. Etapas fenológicas para los tres ejemplares de *Handroanthus heptaphyllus*.

La primera fase fenológica que presenta *H. heptaphyllus* en su ciclo es la de floración, que se da cuando el árbol aún se encuentra sin hojas, ya que es una especie proteranta (Figura 6). La duración de esta fase fue en promedio de 33 días. La fecha media de inicio fue el 27 de septiembre con un desvío de 9 días y el final de la etapa ocurrió el 3 de noviembre con un desvío de 14 días. De los ejemplares observados, L3 presentó la duración más corta de la fase y con una producción de flores casi nula en el primer año de observación.

Si bien la floración del 2016 no fue evaluada para los fines de esta tesina, se observó una menor cobertura de flores en comparación con los años anteriores (2014 y 2015).



Figura 6. Floración de *Handroanthus heptaphyllus*.- A. Botones florales.- B. Flores en anthesis.

La siguiente fase observada fue la brotación. La fecha media de inicio fue el 8 de octubre con un desvío de 4 días. La fecha media para el fin fue el 20 de noviembre con una desviación de 5 días. En este caso, los tres árboles presentaron similar intensidad de fase.

El ciclo de *H. heptaphyllus* continuó con la fase de fructificación. En la planta coexisten frutos maduros cerrados y abiertos (Figura 7), al igual que *E. crista-galli*. Desde mediados de noviembre se observan frutos en crecimiento, indicando así el inicio de

esta fase. La fecha media de comienzo calculada fue el 14 de noviembre y la finalización, el 6 de enero, con desvíos de 15 y 9 días respectivamente.



Figura 7. Cápsulas abiertas de *Handroanthus heptaphyllus*.

La última fase observada antes del descanso invernal fue la de caída del follaje. Comenzó en promedio, el 24 de abril y finalizó el 25 de julio, con desvíos de 17 y 16 días respectivamente. Durante el período de observaciones ningún momento los árboles quedaron totalmente desprovistos de hojas, pero sí lo suficiente (80% de hojas caídas) como para considerar terminada esta fase. Esta etapa fue la más prolongada. Si bien todas las fases se superponen, es posible identificar claramente cada una de ellas. En la Tabla 2 se presentan los promedios de: las fechas de inicio, fin y plenitud, la duración y el desvío de las fases fenológicas de *H. heptaphyllus*.

Tabla 2. Períodos promedio de las fases fenológicas de *H. heptaphyllus*.

	Floración	Brotación	Fructificación	Caída del follaje
Inicio- Fin	27/09- 03/11	08/10- 20/11	14/11- 06/01	24/04- 25/07
Plenitud	12/10	30/10	13/12	10/06
Duración (días)	37	43	53	92
Desvío (días)	5	6	14	5

V.1.3. Determinación de la temperatura base de cada fenofase

Para cada una de las fenofases se estimó la Temperatura base (Tb) de las dos especies en estudio mediante los métodos del menor coeficiente de variabilidad (CV) y de la intercepción de la equis.

En la sección Anexo se presentan las tablas correspondientes a cada fase fenológica (Tablas A.2, A.3, A.4, A.5, A.6, A.7, A.8, A.9, A.10, A.11 y A.12).

En la Tabla 3 se exponen los resultados obtenidos con el método del menor CV para las diferentes etapas fenológicas de *E. crista-galli*. En todos los casos, el menor CV se obtuvo para una temperatura de 0°C. La excepción se dio en la etapa de brotación donde el menor CV se registró para una Tb de 10°C.

Tabla 3. Coeficientes de variabilidad calculados para *E. crista-galli*.

	Coeficiente de variabilidad				
	0°C	2°C	5°C	7°C	10°C
Brotación	45,46	45,30	44,98	44,68	44,37
Floración principal	24,17	24,21	24,30	24,39	24,66
Floración adicional	47,67	47,71	47,78	47,85	48,03
Fructificación	46,45	46,71	47,19	47,64	48,58
Caída del follaje	25,82	27,58	31,77	36,29	46,48

En la Tabla 4 se muestran los resultados obtenidos por el mismo método, para las etapas de *H. heptaphyllus*. Para las etapas de floración y brotación, el menor CV se obtuvo para una Tb de 11°C. Caso contrario ocurrió en las fases de fructificación y caída del follaje, donde el menor CV se dio para una Tb de 0°C.

Tabla 4. Coeficientes de variabilidad calculados para *H. heptaphyllus*.

	Coeficiente de variabilidad					
	0°C	2°C	5°C	7°C	10°C	11°C
Floración	30,9	30,3	29,0	27,8	26,0	25,6
Brotación	18,8	18,5	17,9	17,5	16,9	16,9
Fructificación	37,5	37,7	37,9	38,1	38,5	38,7
Caída del follaje	17,4	18,1	21,0	25,7	41,0	47,8

Por el método de intercepción de las equis se confeccionaron los gráficos correspondientes de regresión lineal (en Anexo, Figuras A.2, A.3, A.4, A.5, A.6, A.7, A.8, A.9, A.10, A.11 y A.12) y mediante la fórmula obtenida se calculó la Tb para cada fenofase y para las dos especies.

Para *E. crista-galli* la Tb calculada por el método de la intercepción de las equis fue muy variable no coincidiendo en la mayoría de las etapas, con el método anterior (Tabla 5). La única fenofase coincidente fue la de brotación, presentando un valor de Tb de 10°C para ambos métodos. La etapa de fructificación presentó una Tb mayor a 20°C, lo que sugiere que el fruto se desarrolla normalmente a partir de un umbral alto de temperatura. La caída del follaje presentó un valor negativo, no pudiendo encontrar una explicación biológica que lo justifique.

Tabla 5. Tb calculadas por el método de intercepción de las equis para *E. crista-galli*.

	Tb (°C)
Floración	14
Floración Adicional	17
Brotación	10
Fructificación	28
Caída del follaje	-0,18

En *H. heptaphyllus* la Tb que más repeticiones obtuvo fue 11°C, coincidiendo las etapas de floración y brotación en ambos métodos para ese valor de temperatura (Tabla 6). La fructificación fue la fenofase que presentó mayor Tb, superando los 20°C, como se registró en *E. crista-galli*.

Tabla 6. Tb calculadas por el método de intercepción de las equis para *H. heptaphyllus*.

	Tb (°C)
Floración	11
Brotación	11
Fructificación	26
Caída del follaje	-1

Comparando los dos métodos de obtención de la Tb, se decidió utilizar, para el cálculo de los GD acumulados en cada fenofase, una Tb de 10°C para *E. crista-galli* y de 11°C

para *H. heptaphyllus*, siguiendo a Spano *et al.* (1999); Contreras Azanza, (2009) y del Barrio y Martín, (2011).

V.1.4. Cálculo de grados días de cada fenofase

Los GD obtenidos por el método clásico, en base a la fecha promedio de inicio y fin de cada fase, se presentan en la Figura 8 para *E. crista-galli*, y en la Figura 9 para *H. heptaphyllus* con las Tb obtenidas en el punto anterior.

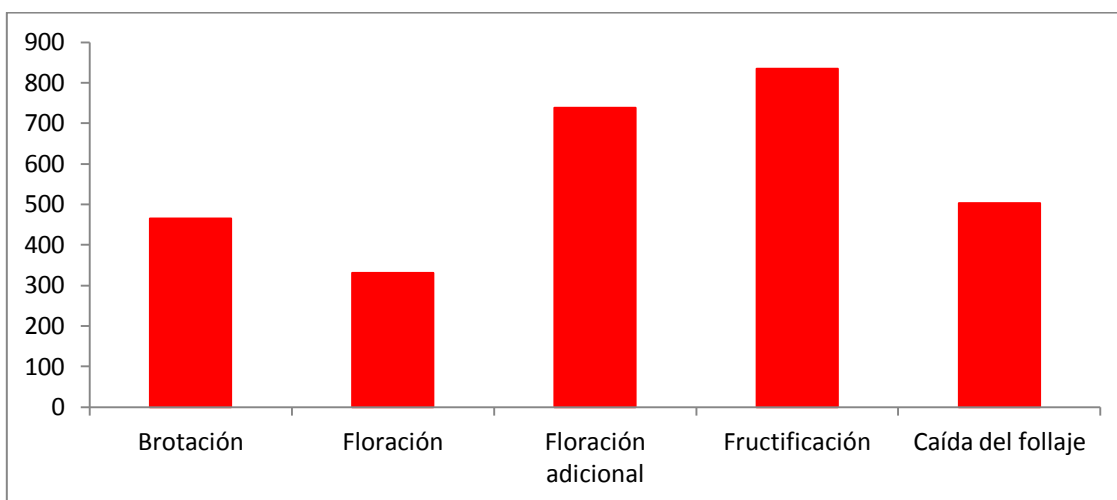


Figura 8. GD acumulados por las diferentes fenofases de *E. crista-galli*.

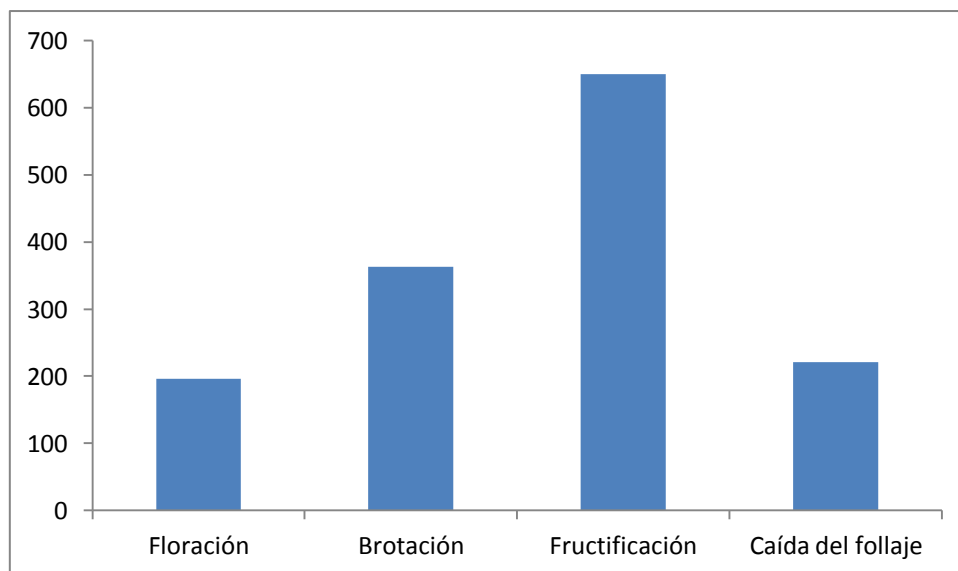


Figura 9. GD acumulados por las diferentes fenofases de *H. heptaphyllus*.

En la sección Anexo se encuentran las tablas con los GD promedios calculados para las dos especies, con sus correspondientes desvíos, para las Tb especificadas anteriormente (Tabla A.13 y Tabla A.14).

Tanto en *E. crista-galli* como en *H. heptaphyllus* se observó que la etapa de fructificación es la que más GD acumuló, ya que es la fenofase que ocurre en la época del año donde las temperaturas son mayores.

Si bien existe un patrón similar para las dos especies en cuanto a los GD que almacenó cada etapa fenológica, en el caso de *E. crista-galli*, el tiempo térmico requerido para cumplir las diferentes etapas fue mayor. La caída del follaje presentó una acumulación de GD similar dentro de cada especie.

V.2. Estudios Agrometeorológicos

V.2.1. Análisis de datos térmicos

Los valores de temperaturas medidos debajo de las cubiertas arbóreas de *E. crista-galli* y *H. heptaphyllus*, se compararon con los registrados en la Estación Agrometeorológica de la FCA, mediante un análisis de regresión lineal (Figura 10 y Figura 11). El R^2 obtenido fue de 0,74 para ambas especies.

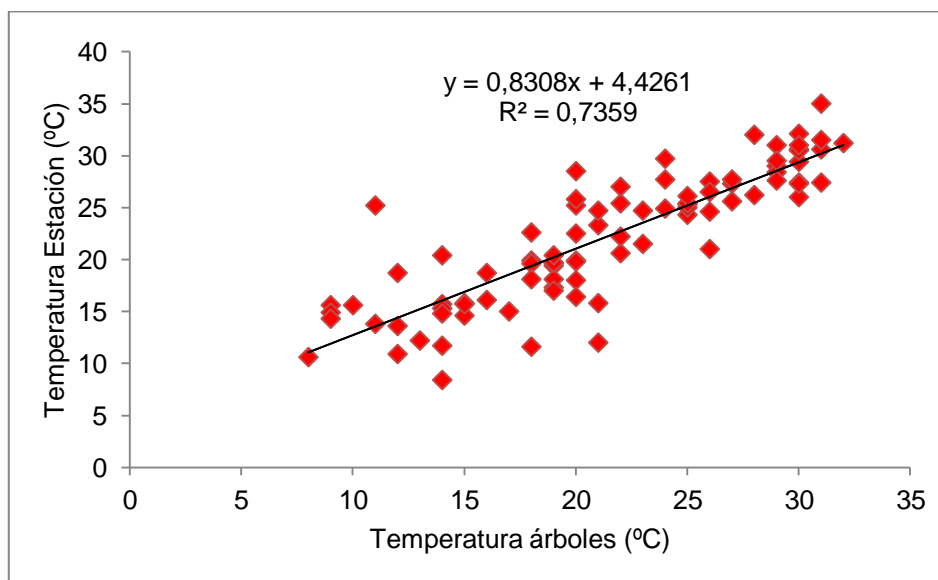


Figura 10. Regresión lineal entre las temperaturas registradas en la Estación Meteorológica y las medidas debajo de la cubierta de *E. crista-galli*.

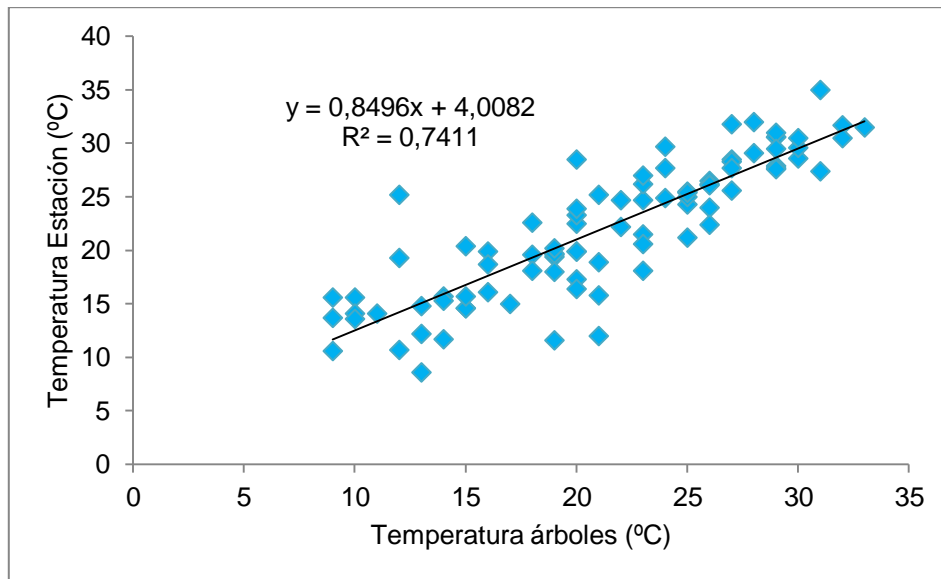


Figura 11. Regresión lineal entre las temperaturas registradas en la Estación Meteorológica y las medidas debajo de la cubierta de *H. heptaphyllus*.

En la mayoría de los casos, las temperaturas registradas en la Estación Agrometeorológica fueron mayores que las medidas en el sitio donde se encuentran los árboles.

En la Figura 12 y Figura 13 se observa la diferencia entre las temperaturas medidas en los dos sitios para las dos especies. Se determinó que durante las fechas en que los árboles están cubiertos con flores y follaje, las temperaturas mayores se dan debajo de la cubierta arbórea.

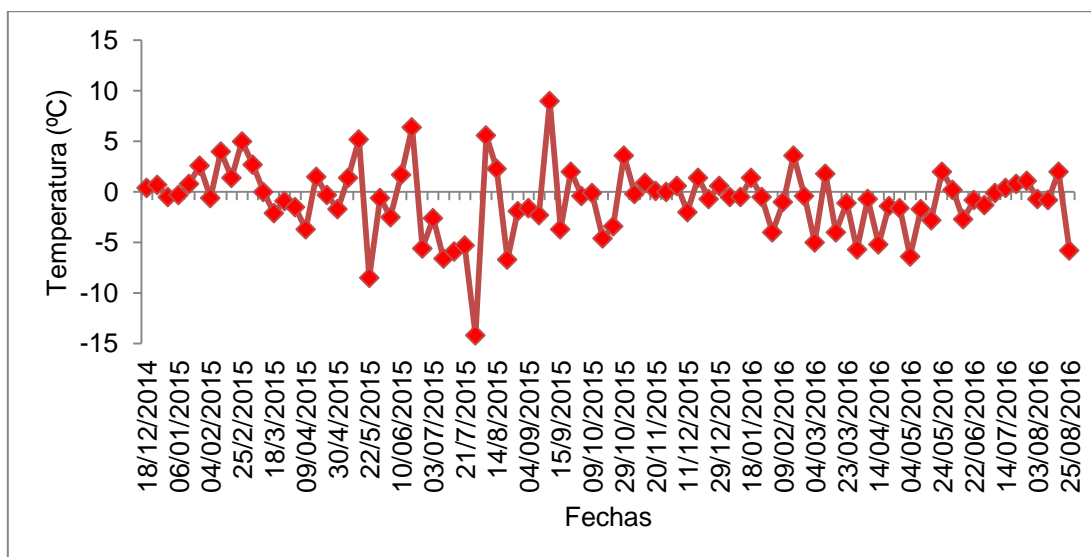


Figura 12. Diferencias de temperatura entre la registrada en la Estación y la medida debajo de la cubierta de *E. crista-galli*.

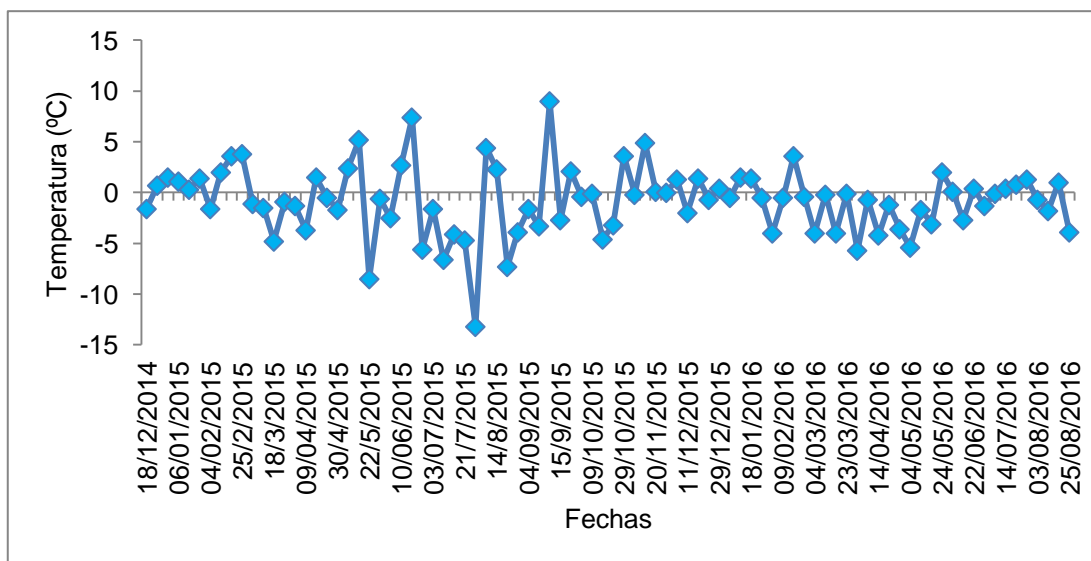


Figura 13. Diferencias de temperatura entre la registrada en la Estación y la medida debajo de la cubierta de *H. heptaphyllus*.

V.2.2. Variabilidad interanual de las condiciones agroclimáticas y su relación con el inicio, fin y duración de las fases fenológicas

En la Figura 14 se presenta la marcha anual de la temperatura durante los años de observación. También se grafican las temperaturas medias históricas para poder

observar cómo variaron las temperaturas medias en los últimos años en relación a la histórica.

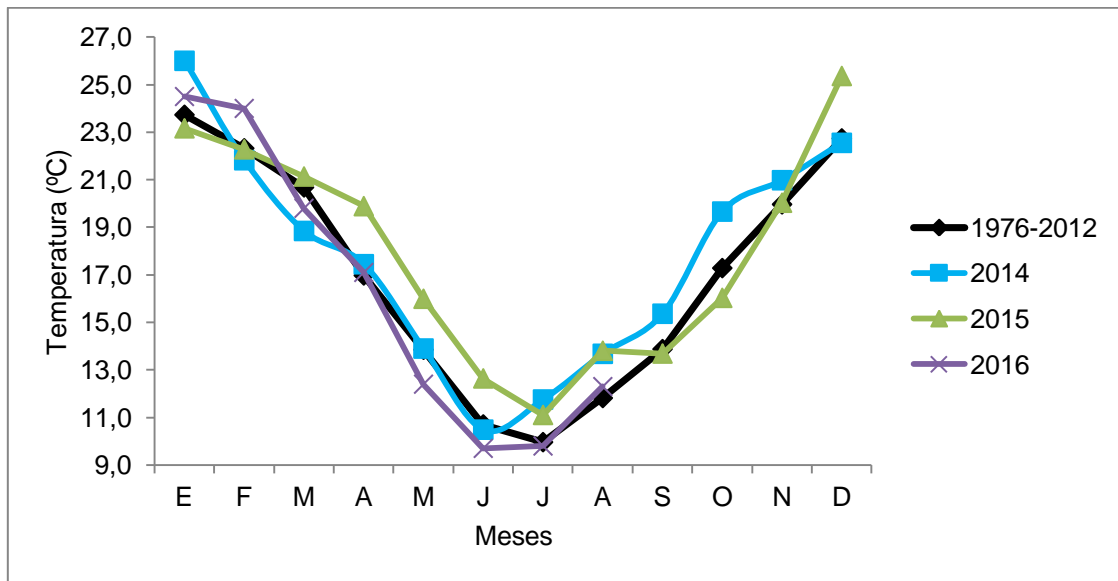


Figura 14. Marcha anual de la temperatura.

En general se observa que el año 2015 fue el que presentó mayores temperaturas en los meses fríos, siendo el invierno benigno en relación a las medias históricas. Sin embargo, de septiembre a noviembre, las temperaturas registradas en 2014 fueron mayores que en los demás años. Los meses del año 2016 en que se dispuso de datos fueron, en promedio, los más fríos en relación con los datos históricos y con los años 2014 y 2015.

La marcha anual de humedad relativa se representa en la Figura 15. Se puede apreciar que en los meses del año 2016 en que se tomaron datos fueron, en términos generales, más húmedo que el resto de los años y que los valores históricos. Durante el año 2014 ocurrió un pico de humedad en febrero, lo mismo que para mayo pero con valores menores. Asimismo, el año 2015 presentó sus máximos niveles de humedad en los meses de mayo, junio y agosto.

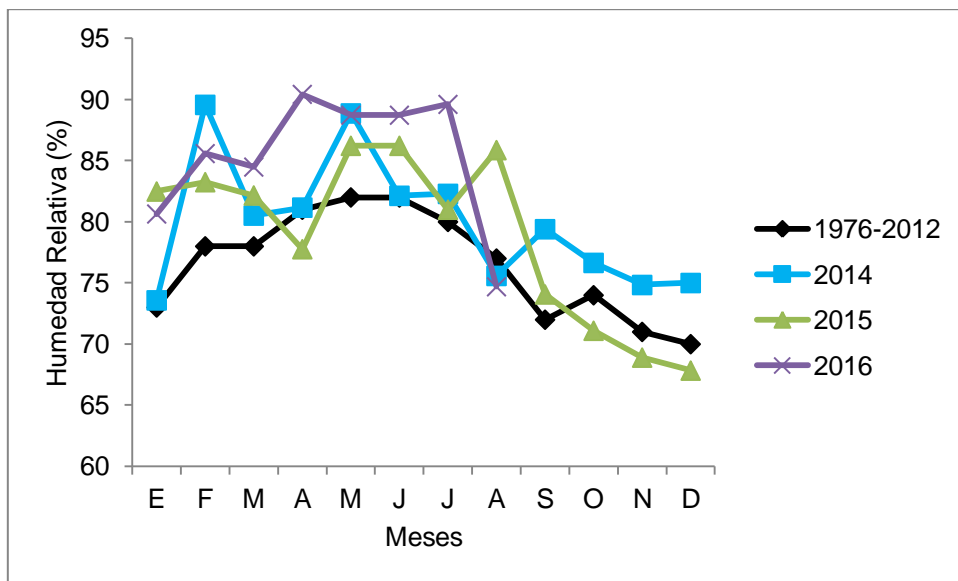


Figura 15. Marcha anual de la Humedad Relativa.

En la Figura 16 y Figura 17 se presenta el inicio, el fin y la duración de las fenofases para los dos años de observación, por especie. Los valores representados corresponden al promedio de las fechas y duración para cada fase, de todos los individuos observados por año, con el objetivo de que queden representadas las diferencias de un año a otro. En la Figura 16 se observan los gráficos correspondientes a *E. crista-galli* para los dos años en que se llevó a cabo este estudio. De igual manera en la Figura 17 para *H. heptaphyllus*.

En la sección Anexo se encuentran las tablas correspondientes con los valores de las fechas de inicio, plenitud y fin, así como los días de duración (Tabla A.15 y Tabla A.16).

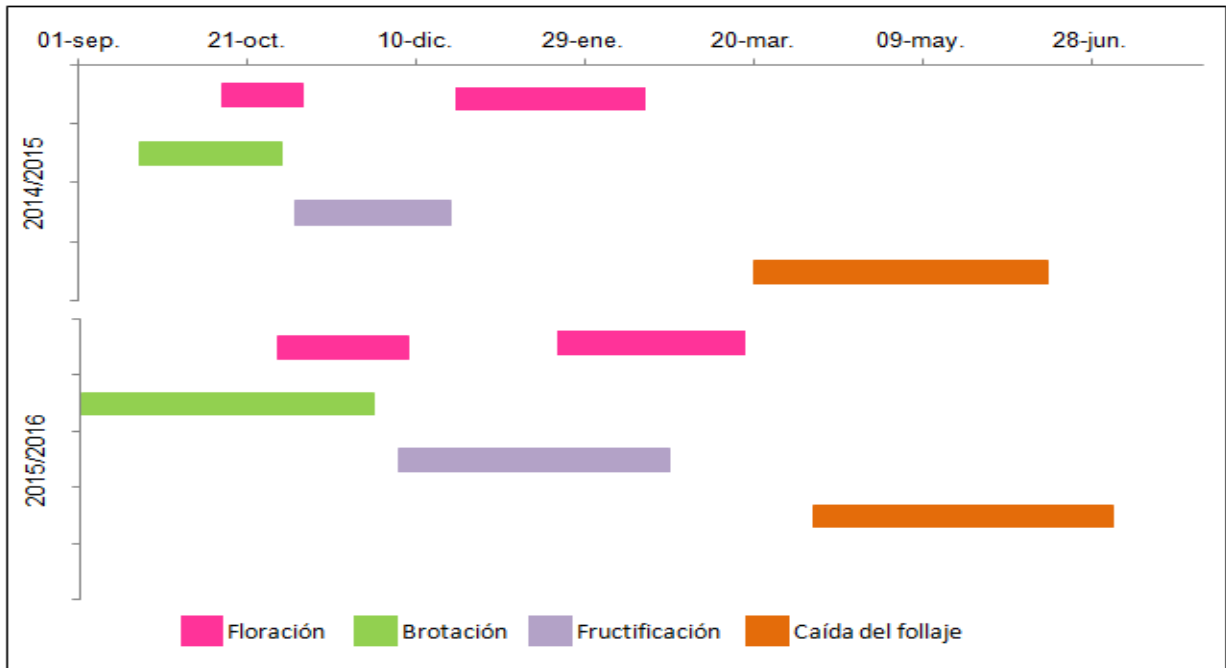


Figura 16. Representación de las fases fenológicas de los dos ciclos observados de *E. crista-galli*.

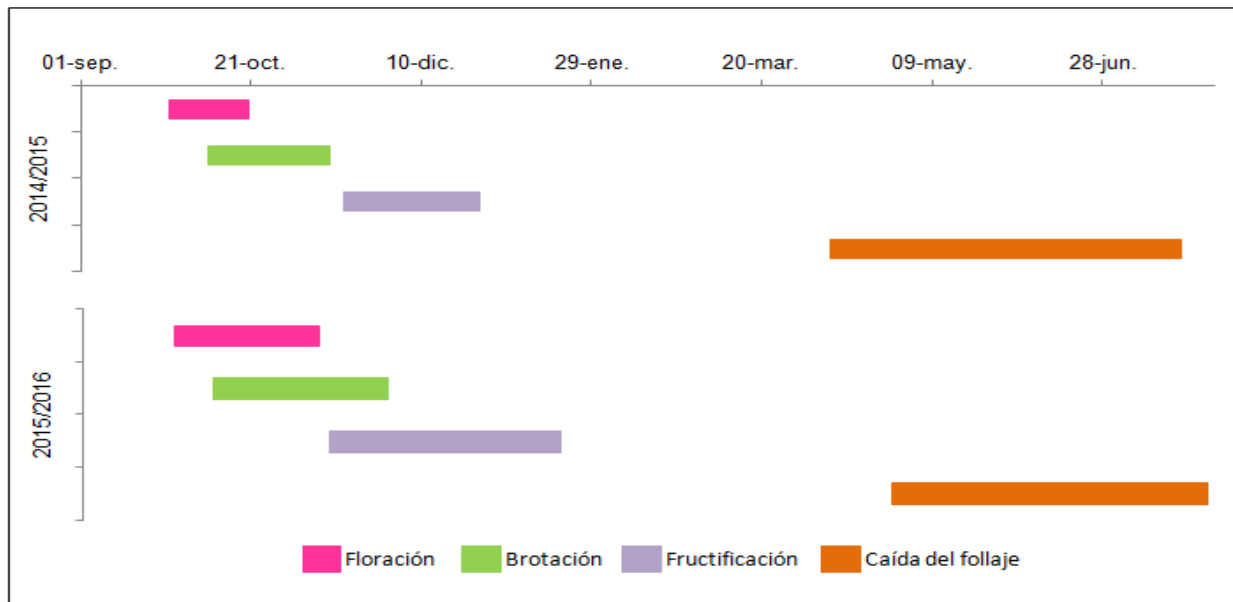


Figura 17. Representación de las fases fenológicas de los dos ciclos observados de *H. heptaphyllus*.

Según se desprende de las figuras, comparando los dos años, se observa que hubo variación en la duración de las fenofases, así como en las fechas de inicio y fin de cada una. En éstas se distingue que el segundo período de observaciones (2015-2016)

presenta las etapas más largas en comparación con el primero. Esto se relaciona con las variaciones climáticas interanuales ocurridas durante el período analizado.

Para determinar el efecto de la variabilidad interanual de la temperatura y de la humedad relativa del aire en la duración de cada etapa fenológica, se graficó la marcha de estas variables durante cada fase, para cada año de observación.

En *E. crista-galli* la fase fenológica de brotación fue más corta en 2014, presentándose mayores temperaturas al final de dicha etapa (Figura 18). La humedad relativa también podría estar favoreciendo el acortamiento de la fase ya que ese período de 2014 fue más húmedo en comparación con el de 2015 (Figura 19).

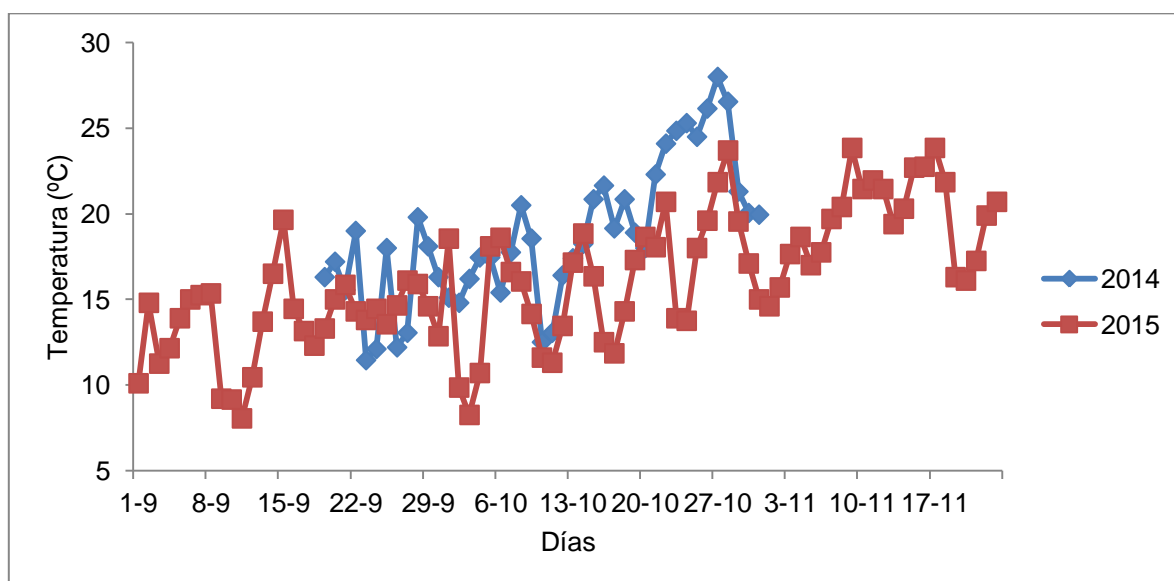


Figura 18. Marcha de las temperaturas diarias durante la fase de Brotación de *E. crista-galli*.

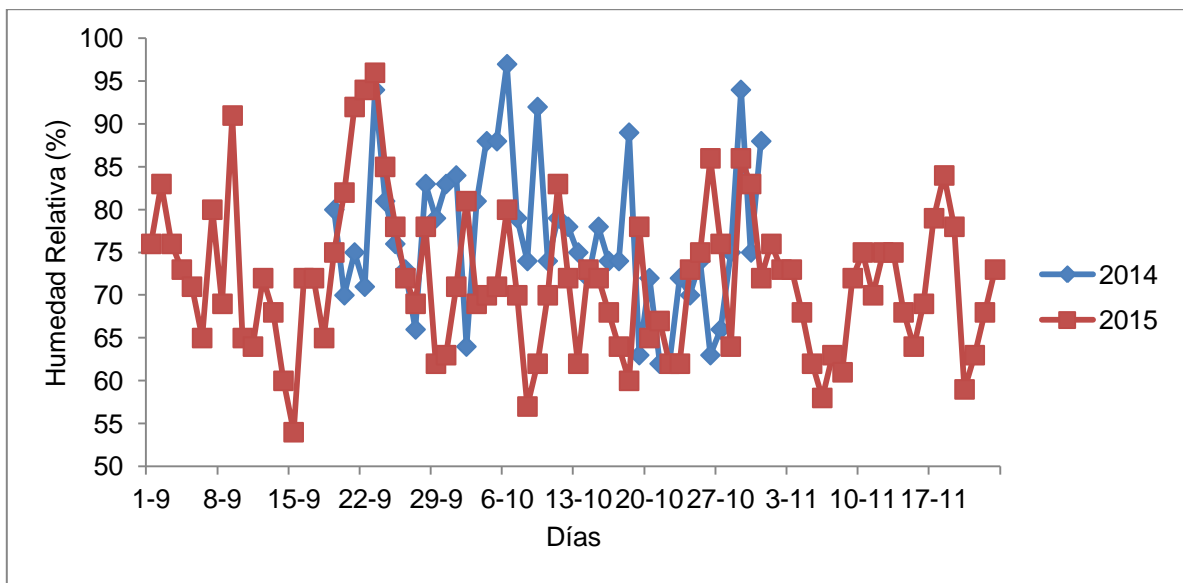


Figura 19. Marcha de las humedades relativas diarias durante la fase de Brotación de *E. crista-galli*.

La floración fue más corta el primer año de observación. Las temperaturas al principio de la floración fueron mayores en 2014 que en 2015, haciendo que la fase se acorte, si bien luego descendieron bruscamente (Figura 20). Igual comportamiento muestra la humedad relativa en los años analizados (Figura 21).

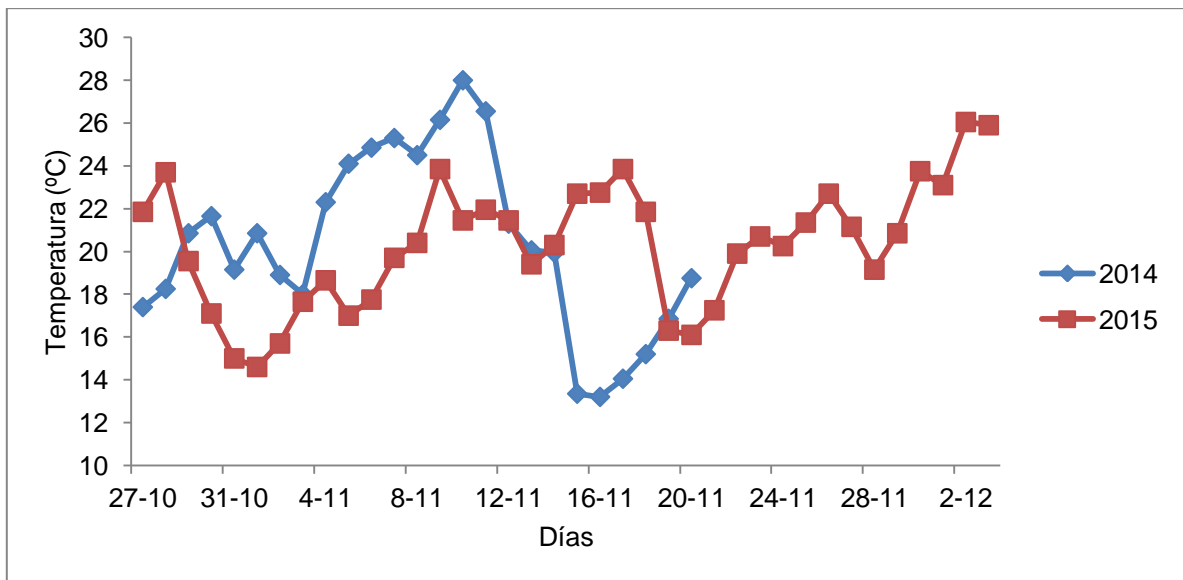


Figura 20. Marcha de las temperaturas diarias durante la fase de Floración de *E. crista-galli*.

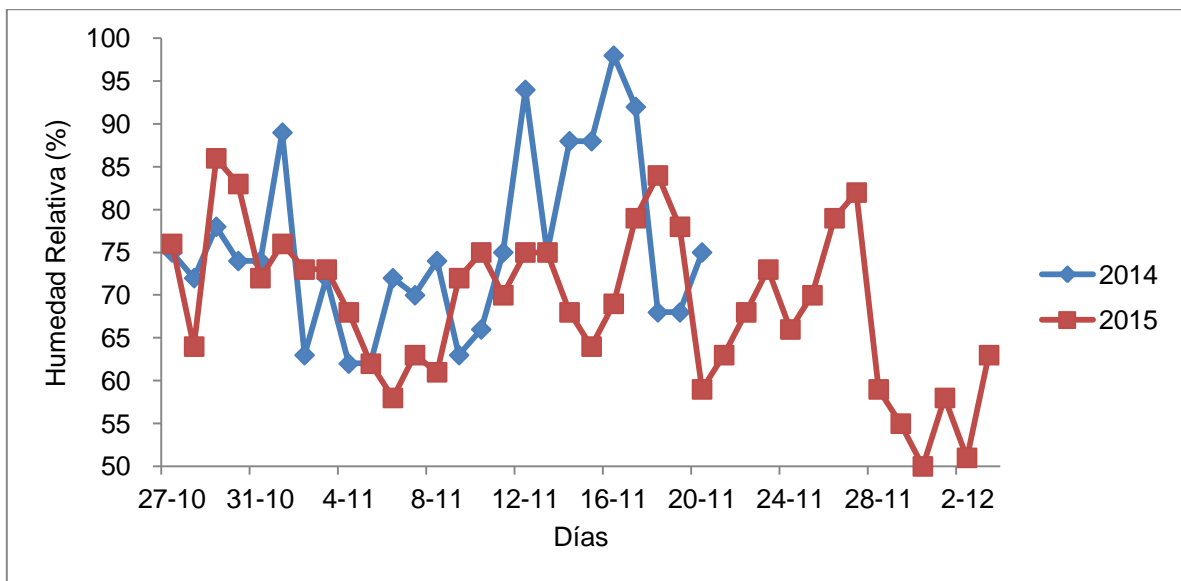


Figura 21. Marcha de las humedades relativas diarias durante la fase de Floración de *E. crista-galli*.

Una particularidad interesante ocurrió en el segundo episodio de floración. Comparando las fechas de inicio, en el segundo año ésta se atrasó más de un mes. Sin embargo la duración fue igual en ambos períodos de observación. En los gráficos de temperaturas y humedad relativa se puede apreciar que en general los valores medios registrados fueron similares durante los dos años (Figura 22 y Figura 23). Pero analizando las temperaturas de diciembre de 2015 y comparándolas con las de 2014 fueron en término medio mayores.

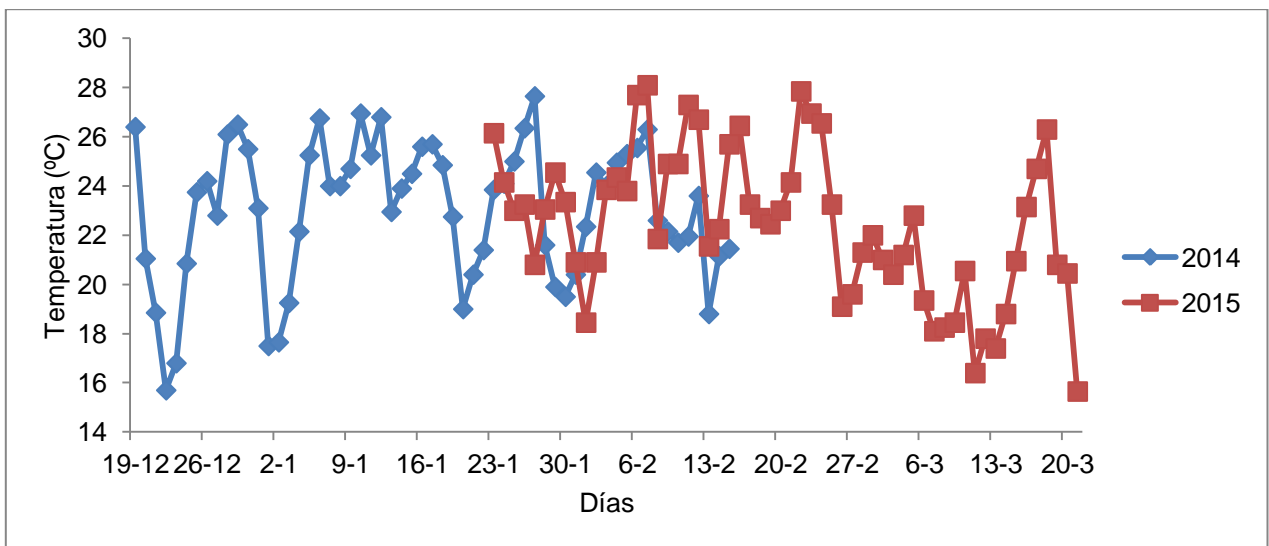


Figura 22. Marcha de las temperaturas diarias durante la fase de Floración adicional de *E. crista-galli*.

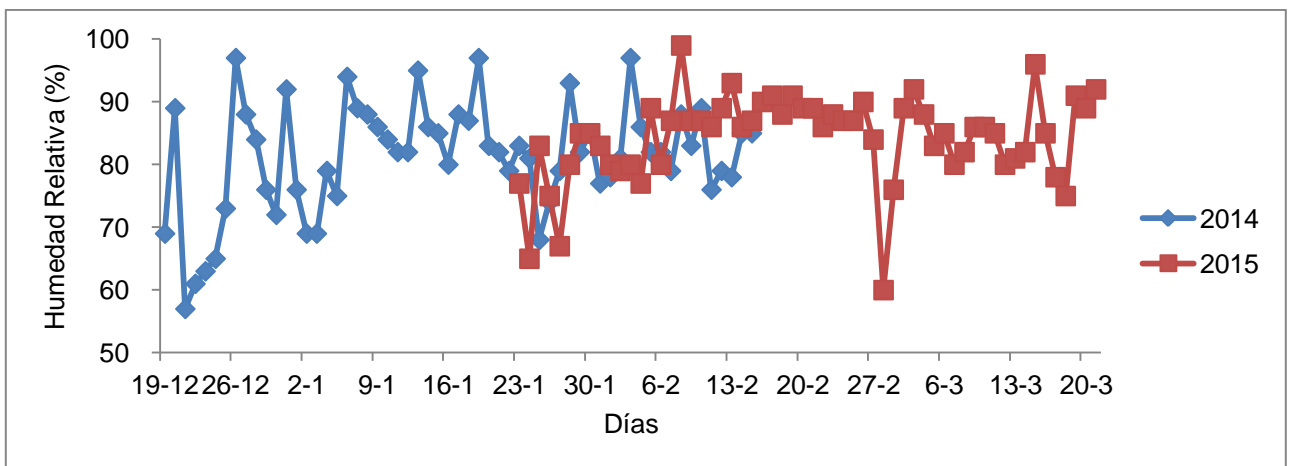


Figura 23. Marcha de las humedades relativas diarias durante la fase de Floración adicional de *E. crista-galli*.

En el 2014, la etapa de fructificación también ocurrió casi un mes antes, como en el caso de la floración adicional. En este caso no se observa una respuesta a la temperatura y a la humedad del aire (Figuras 24 y 25). Durante la fase, en el segundo año se dieron temperaturas mayores y ésta fue más extensa. El subperíodo floración-fructificación no coincidió en su totalidad para ambos años, empezando antes el que corresponde al año 2014 (Figura 26). Esto quiere decir que la duración de esta fase en esta especie no responde sólo a la temperatura del aire.

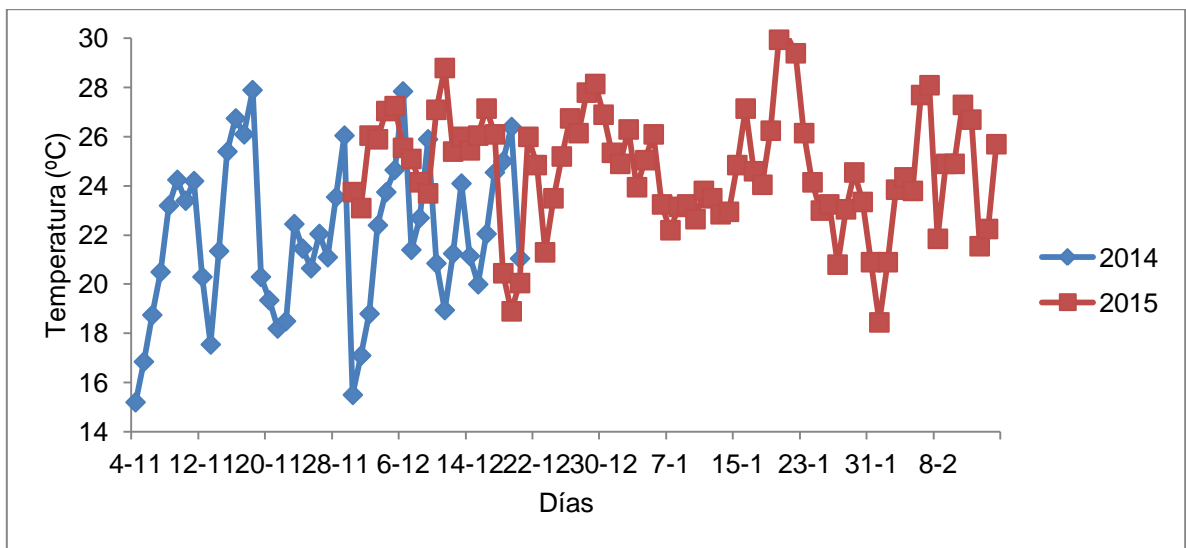


Figura 24. Marcha de las temperaturas diarias durante la fase de Fructificación de *E. crista-galli*.

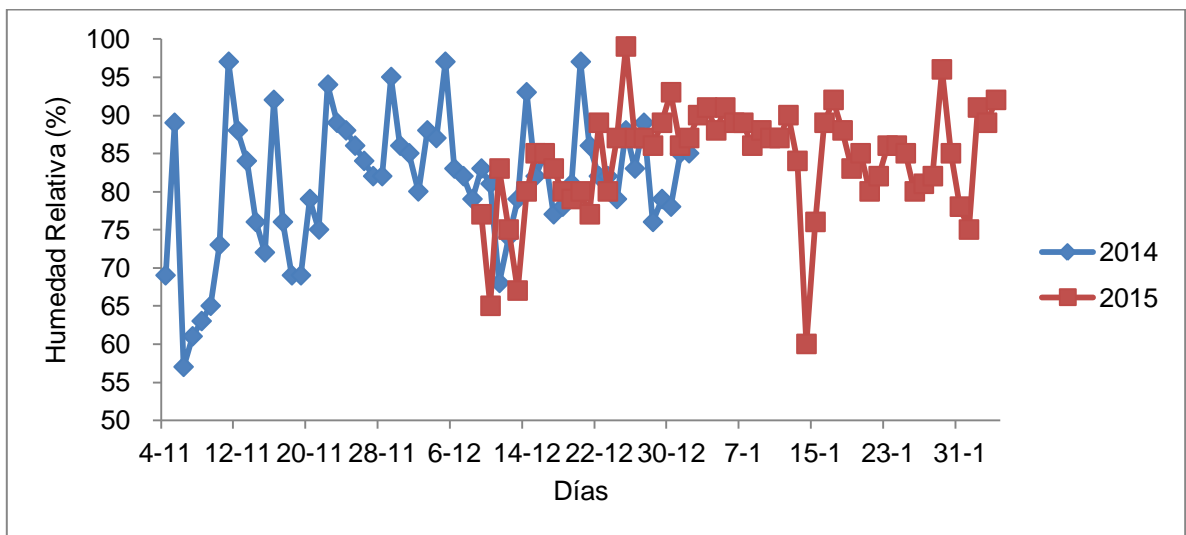


Figura 25. Marcha de las humedades relativas diarias durante la fase de Fructificación de *E. crista-galli*.

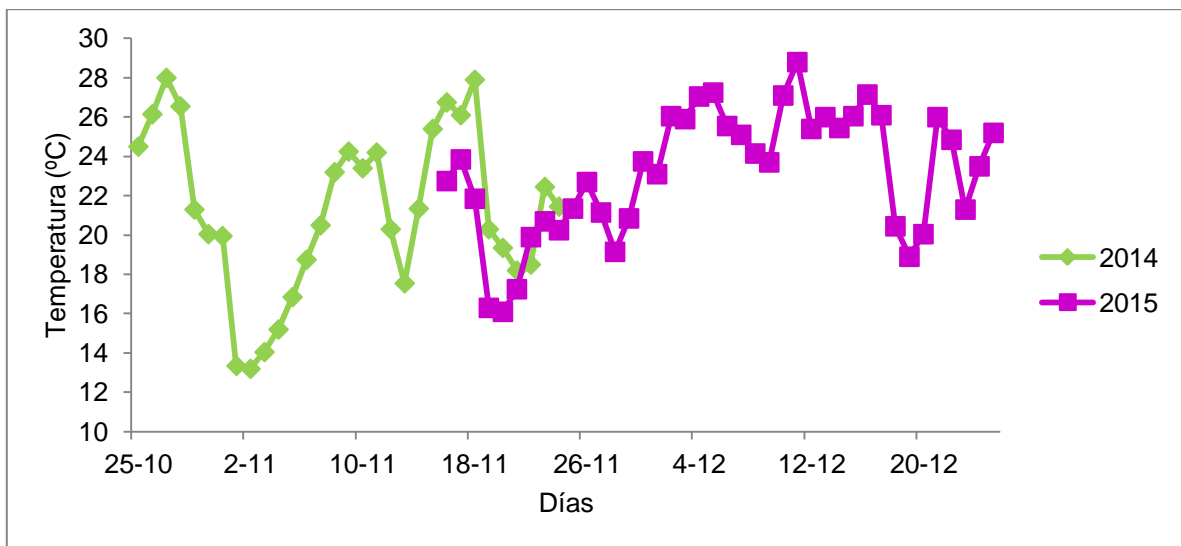


Figura 26. Marcha de las temperaturas diarias durante la fase de subperíodo floración-fructificación de *E. crista-galli*.

La caída del follaje en *E. crista-galli* fue muy similar en los dos años. La duración promedio fue aproximadamente igual, con sólo dos días de diferencia. No obstante, en la Figura 27 se puede observar como la temperatura en 2015 fue mayor y la fenofase no se acortó. En el año 2016 esta variable presentó valores muy bajos en relación con 2015, sin embargo la caída de las hojas duró lo mismo y con fechas similares de inicio y fin de fase. La humedad relativa del aire tampoco parece ser el factor clave que afecta el comportamiento de esta etapa en particular. Según se aprecia en la Figura 28, ésta fluctuó significativamente entre los dos años y la duración de la caída de las hojas fue la misma.

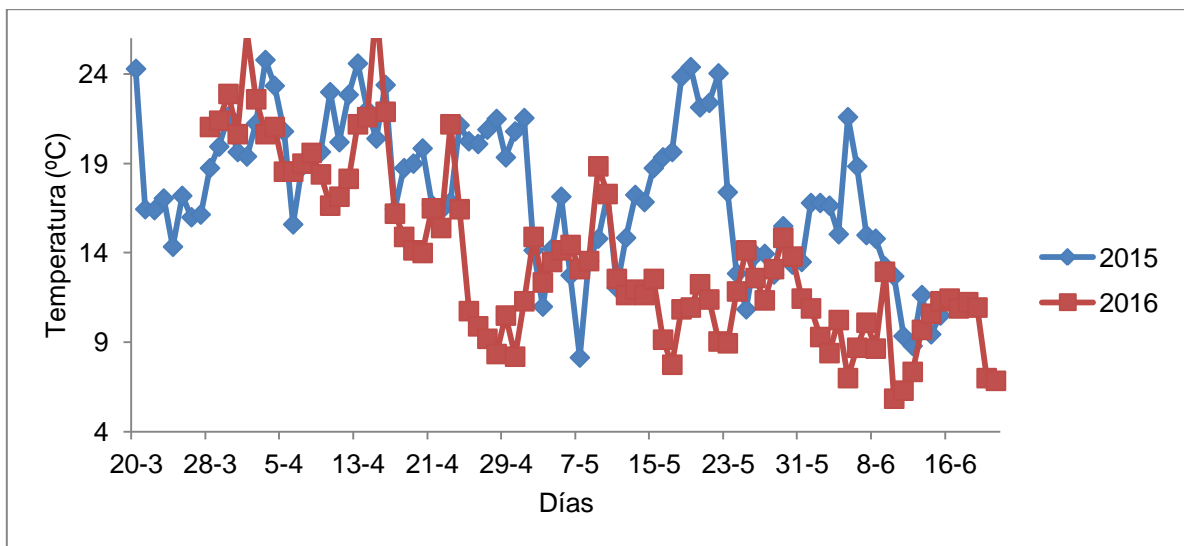


Figura 27. Marcha de las temperaturas diarias durante la fase de Caída del follaje de *E. crista-galli*.

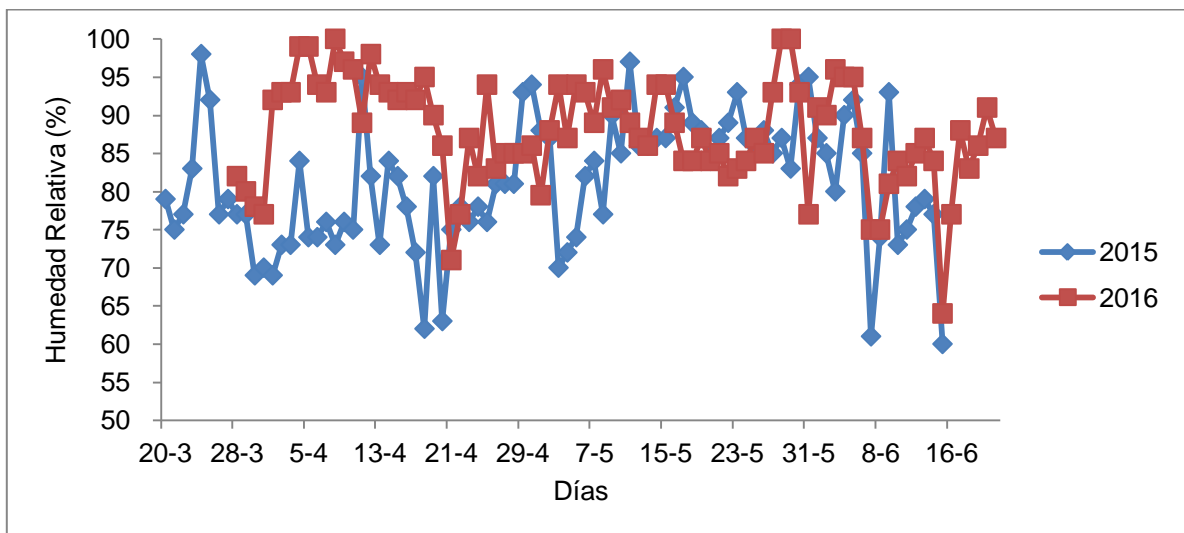


Figura 28. Marcha de las humedades relativas diarias durante la fase de Caída del follaje de *E. crista-galli*.

En cuanto a *H. heptaphyllus*, la floración fue más corta en el 2014. Esto tiene relación con que las temperaturas diarias acontecidas durante la fase fueron mayores que en el 2015, lo que hizo que la floración se concentre en tres semanas (Figura 29). Igual comportamiento muestra la humedad relativa en los años analizados (Figura 30).

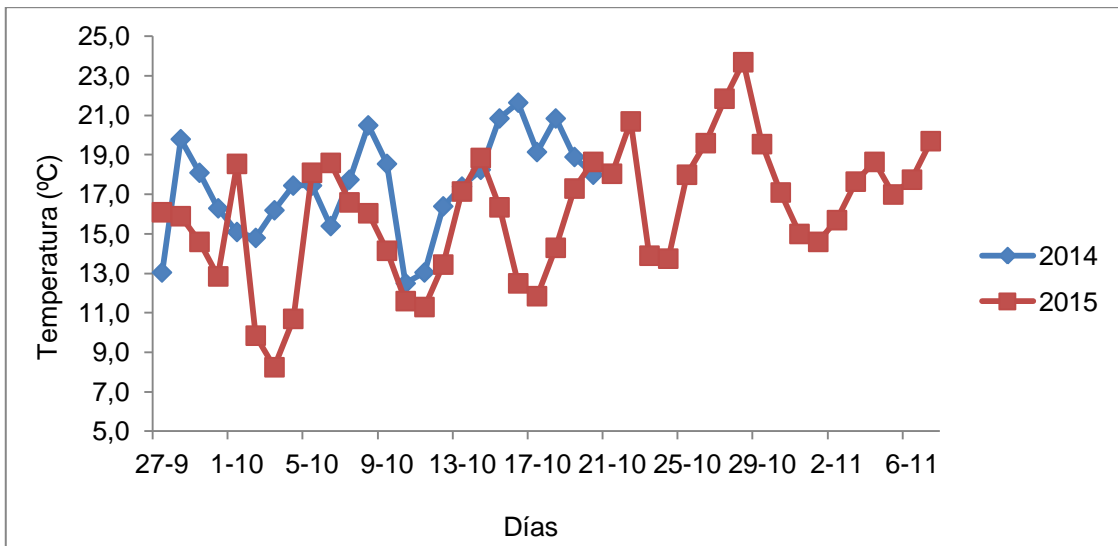


Figura 29. Marcha de las temperaturas diarias durante la fase de Floración de *H. heptaphyllus*.

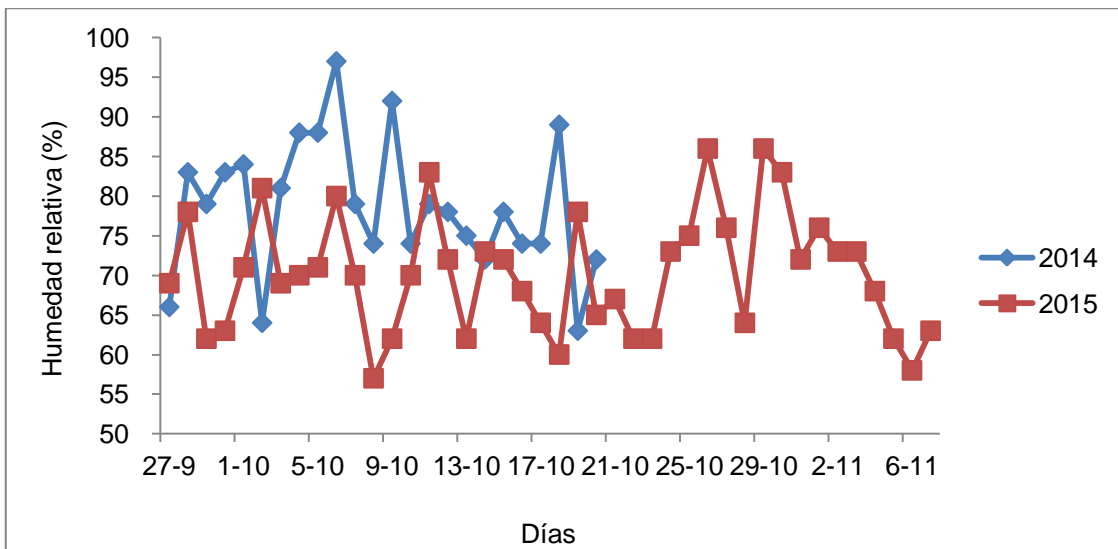


Figura 30. Marcha de las humedades relativas diarias durante la fase de Floración de *H. heptaphyllus*.

La brotación de esta especie fue más corta en el primer año de observación, donde las temperaturas fueron mayores (Figura 31) y la humedad fue más alta (Figura 32).

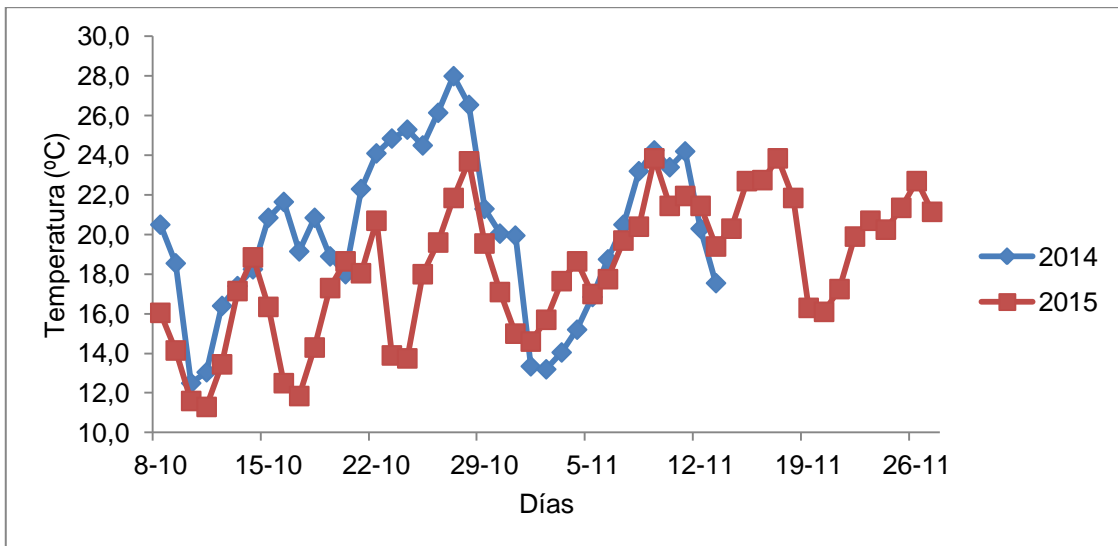


Figura 31. Marcha de las temperaturas diarias durante la fase de Brotación de *H. heptaphyllus*.

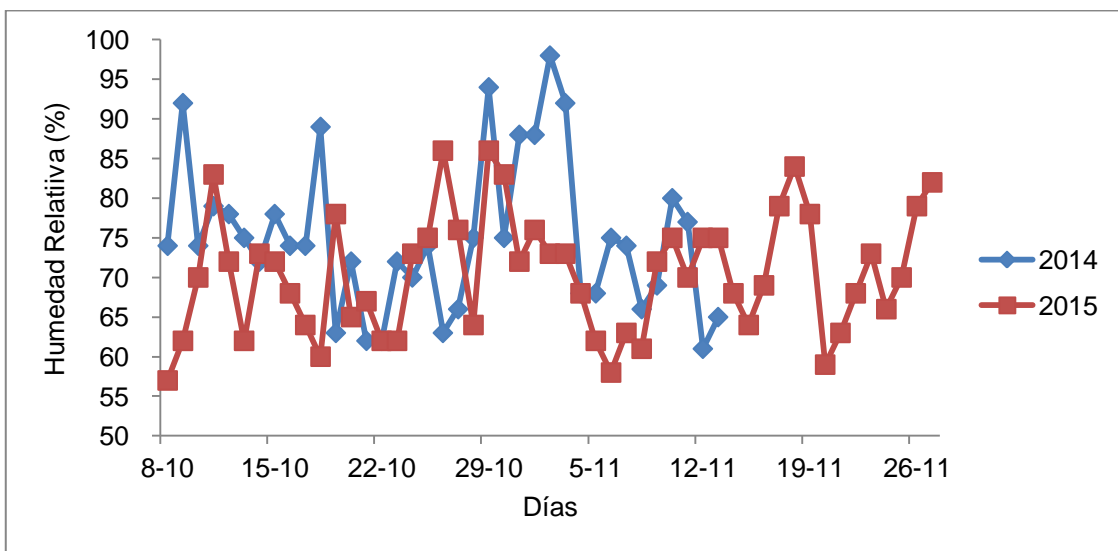


Figura 32. Marcha de las humedades relativas diarias durante la fase de Brotación de *H. heptaphyllus*.

A diferencia de lo ocurrido en las dos etapas anteriores, en la fase de fructificación los patrones cambiaron. La etapa también fue más corta en el año 2014, pero las temperaturas fueron menores, en promedio, que en el año 2015 (Figura 33), si bien la humedad relativa siguió mostrando aproximadamente el mismo comportamiento que en las fases anteriores (Figura 34). Se analizó también la relación de la variable temperatura con el subperíodo floración-fructificación. Se obtuvo que las temperaturas

dadas en el año 2014 fueron mayores que las del año 2015, antes de la plenitud de la fase de fructificación, lo que explicaría el acortamiento de la fase durante el primer año de observación (Figura 35).

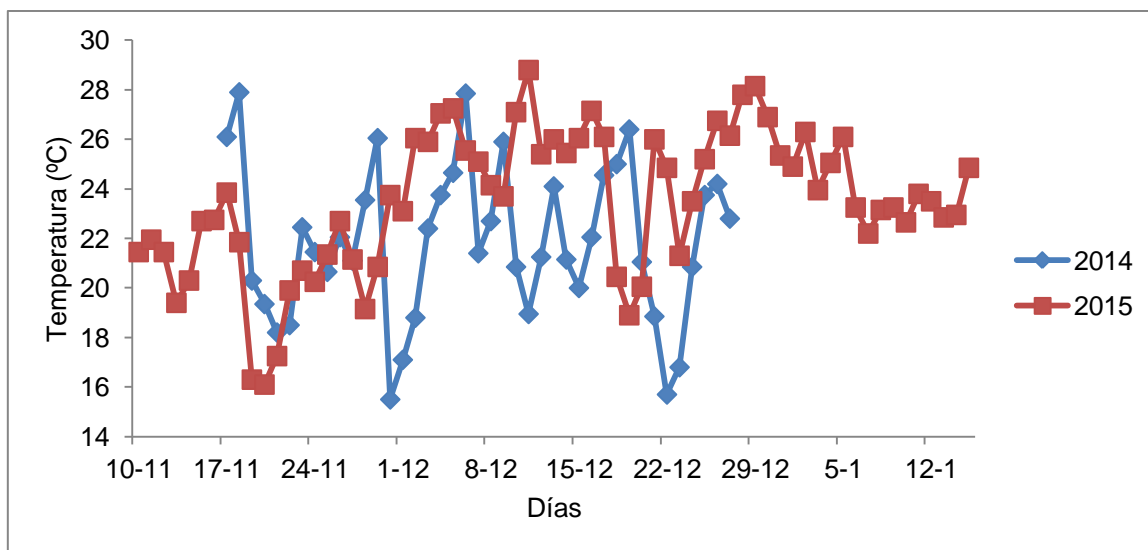


Figura 33. Marcha de las temperaturas diarias durante la fase de Fructificación de *H. heptaphyllus*.

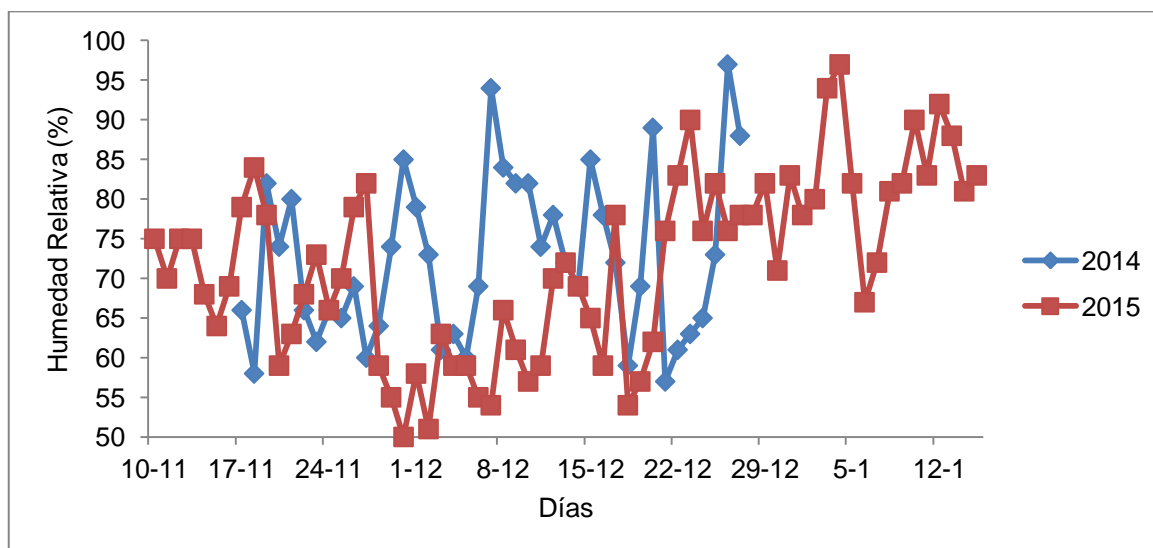


Figura 34. Marcha de las humedades relativas diarias durante la fase de Fructificación de *H. heptaphyllus*.

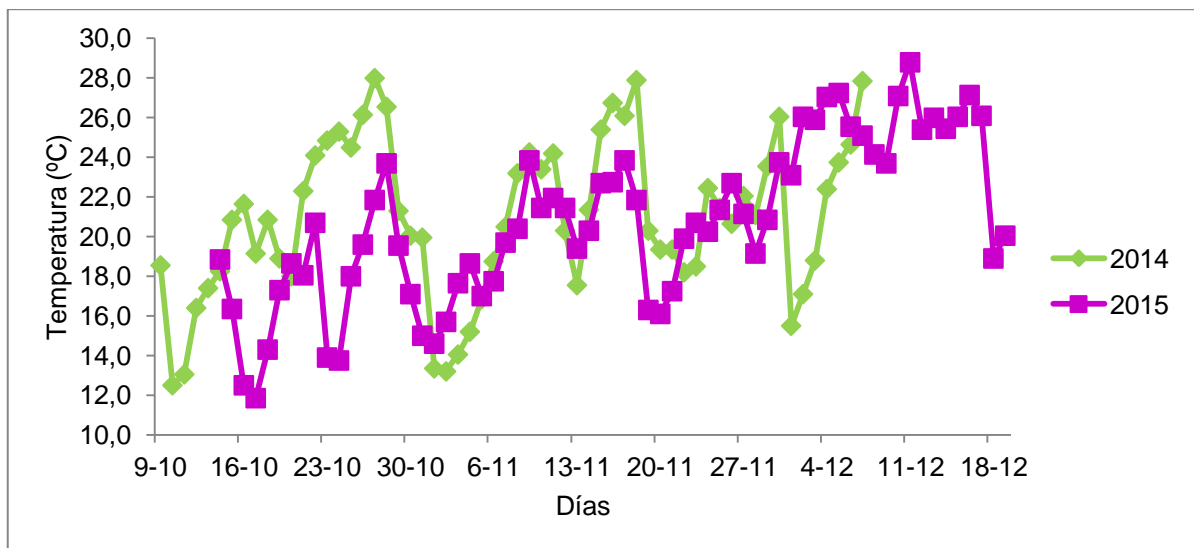


Figura 35. Marcha de las temperaturas diarias durante la fase de Subperíodo floración-fructificación de *H. heptaphyllus*.

La caída del follaje presenta la misma relación que la brotación y la floración con respecto a la temperatura. A mayor temperatura la fase se acorta, como se observó en el año 2015 y se puede ver graficado en la Figura 36. En cuanto a la humedad relativa, los valores registrados fueron fluctuantes y similares en los dos años, no teniendo influencia sobre la duración de esta fase (Figura 37).

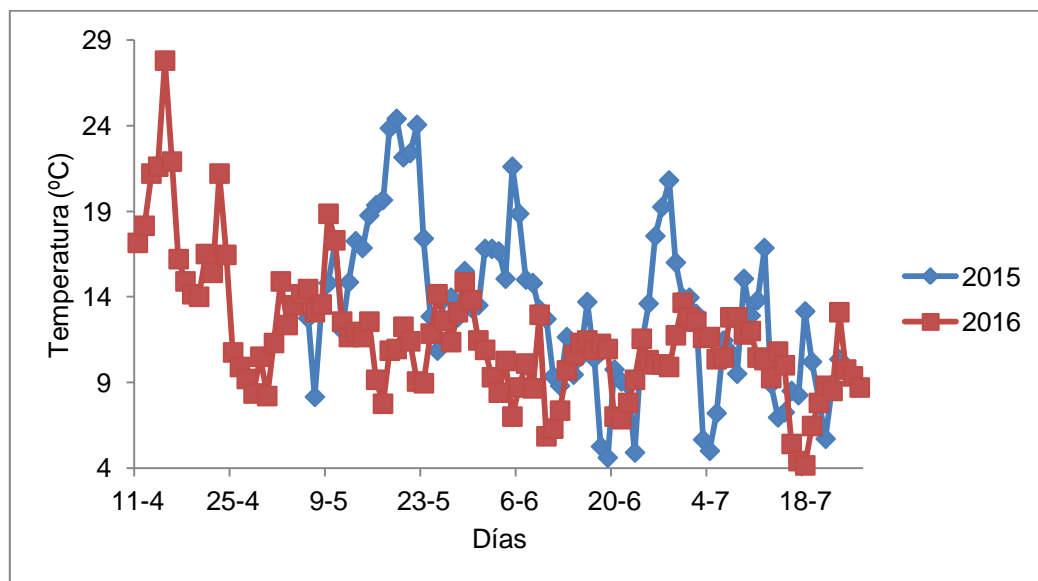


Figura 36. Marcha de las temperaturas diarias durante la fase de Caída del follaje de *H. heptaphyllus*.

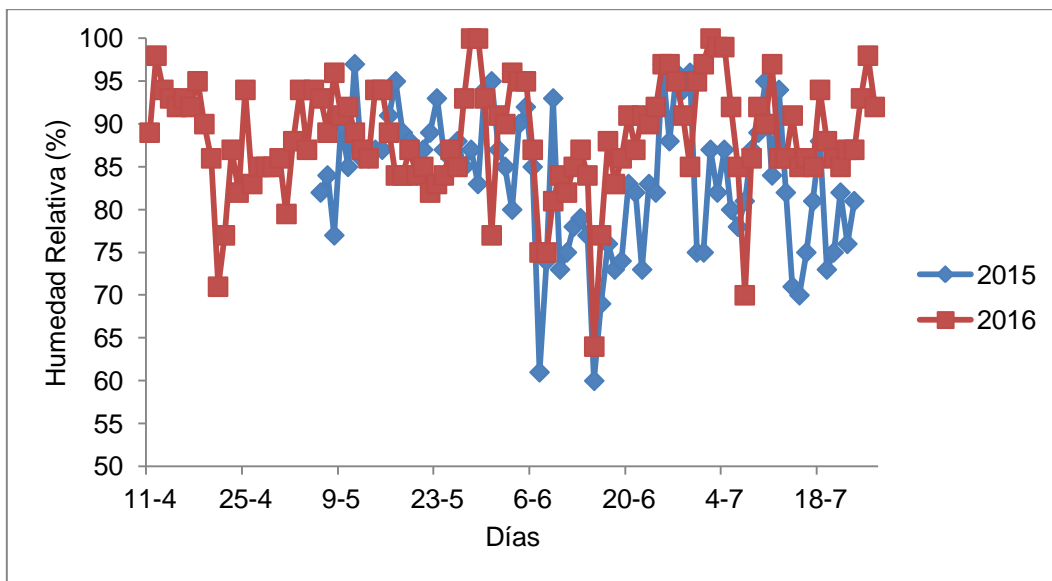


Figura 37. Marcha de las humedades relativas diarias durante la fase de Caída del follaje de *H. heptaphyllus*.

Las horas de frío efectivas registradas en los últimos años (2013, 2014, 2015 y 2016), medidas en la Estación Agrometeorológica de la FCA de la UNR se presentan en la Figura 38. En la Figura 39 se muestra la acumulación anual de esas horas de frío para la localidad de Zavalla. Se puede observar que la mayor acumulación de horas de frío se dio en el año 2013, y las menores en el 2015, presentando este último una estación invernal cálida.

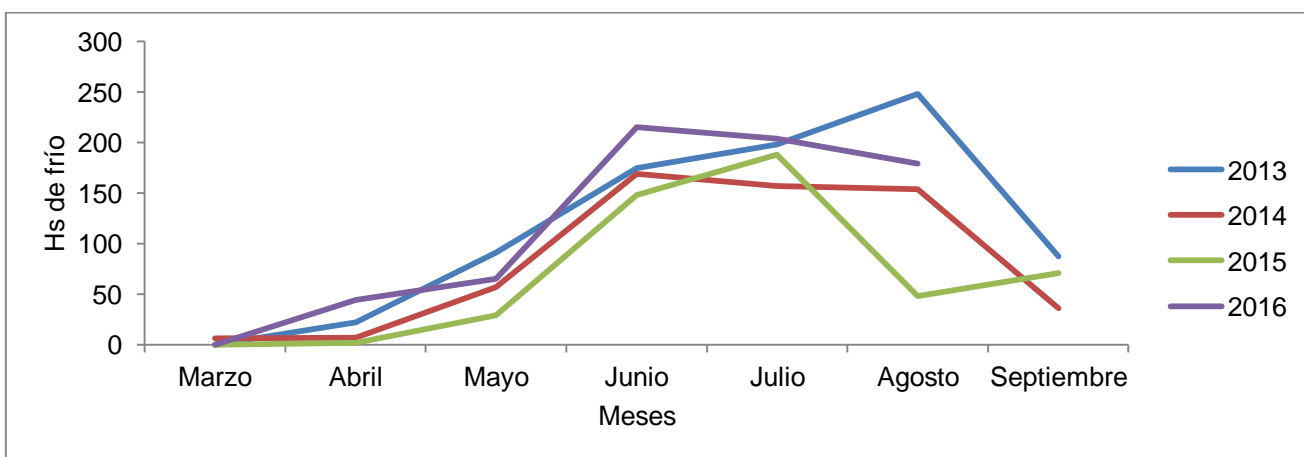


Figura 37. Variación de las horas de frío registradas en la localidad de Zavalla.

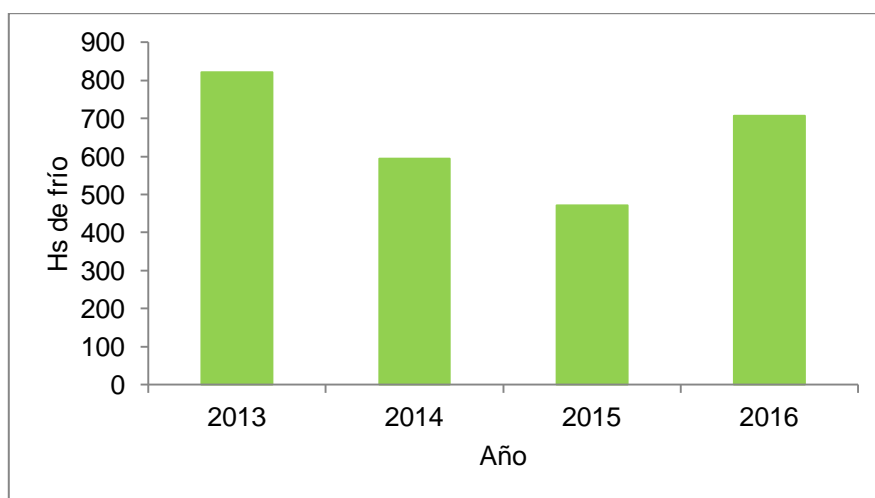


Figura 38. Horas de frío acumuladas en los últimos años en la localidad de Zavalla.

Mediante la interpretación de las figuras y relacionándolo con las fenofases estudiadas, se logra interpretar que *E. crista-galli*, en 2014, acumula mayor cantidad de horas de frío previas a la floración que en 2015, siendo otro factor que podría afectar al comportamiento de esta fase, haciendo que se acorte. Lo mismo para la floración de *H. heptaphyllus*.

Sin embargo, a diferencia de otras especies caducifolias, al parecer las dos estudiadas en este trabajo, no presentan un requerimiento de frío alto para poder cumplir con su etapa reproductiva ya que las horas acumuladas fueron menores respecto a las requeridas por duraznero (400-1100 hs de frío) para esta zona (Flores, 2007).

A continuación se presenta un análisis cuantitativo mediante el cálculo del coeficiente de determinación (R^2) y el coeficiente de correlación de Pearson (r) en relación al efecto de la temperatura del aire sobre la duración de cada fenofase. El mismo se hizo en base a los datos de los gráficos utilizados para el cálculo de la T_b mediante el método de intercepción de las equis (ver Anexo, Figuras A.2, A.3, A.4, A.5, A.6, A.7, A.8, A.9, A.10, A.11 y A.12).

En la Tabla 7 se presentan los valores de los coeficientes para *E. crista-galli*. Se observa que las duraciones de las etapas de floración (ambas), y caída del follaje no presentan correlaciones significativas con la temperatura media del aire. La única etapa que presenta una correlación significativa y positiva es fructificación. La etapa de brotación presenta una correlación significativamente negativa.

Tabla 7. Coeficientes de determinación y de correlación de Pearson entre duración de la fase y temperatura media del aire para *E. crista-galli*. (*) con $p < 0,01$.

Fase	R ²	r
Floración 1	0,05	-0,22
Floración 2	0,08	-0,28
Brotación	0,37	-0,61*
Fructificación	0,46	0,68*
Caída follaje	0,007	-0,08

Para *H. heptaphyllus*, a diferencia de lo ocurrido en el caso anterior, la duración de las etapas de floración, brotación y caída del follaje presentan una correlación significativamente negativa con la temperatura del aire, siendo ésta la principal variable que afecta su comportamiento (Tabla 8).

Tabla 8. Coeficientes de determinación y de correlación de Pearson entre duración de la fase y temperatura media del aire para *H. heptaphyllus*. (*) con $p < 0,01$.

Fase	R ²	R
Floración	0,68	-0,82*
Brotación	0,45	-0,67*
Fructificación	0,34	0,58
Caída follaje	0,42	-0,65*

VI. DISCUSIÓN

En el Parque Villarino, la brotación de *Erythrina crista-galli* comienza en septiembre, antes de iniciar la primavera. La floración es la fase que le sigue con los primeros pimpollos apareciendo a mediados de octubre, mientras que la fructificación se da a mediados de noviembre. Las hojas comienzan a caerse en el otoño, a finales del mes de marzo.

El inicio y fin de la fase de brotación registrada en el Parque Villarino es coincidente con los resultados de Coimbra Vieira Costa y Barros de Morais (2008) en Rio Grande do sul, Brasil.

El primer episodio de floración ocurre 12 días antes en el Parque Villarino respecto a lo encontrado por Galetto *et al.* (2000) para individuos en la Isla Charigüe en Victoria, Entre Ríos. Los cambios en la fecha de comienzo de floración pueden atribuirse a las condiciones climáticas diferentes en ambos sitios de observación, especialmente en el contenido de humedad del aire, además de la diferencia cronológica entre la ejecución de un estudio y de otro.

Gratieri- Sossella (2005) estudió varias cualidades de *E. crista-galli* en el sur de Brasil, registrando que su floración se da durante los meses de septiembre a diciembre, estando esta fase íntimamente ligada al factor térmico.

Se destaca un segundo episodio de floración que presenta más variabilidad entre los individuo estudiados en cuanto a las fechas de inicio, fin y duración de la fase. Este resultado es coincidente con lo encontrado por Galetto *et al.* (2000) y Coimbra Vieira Costa y Barros de Morais (2008).

Un factor que puede ser el principal generador de este segundo episodio floral es el termoperiodismo asincrónico (Burgos, 1952). Este término se refiere a una reacción en particular de ciertas especies vegetales frente al comportamiento aperiódico de la temperatura. Es de esperar que la temperatura del aire presente anualmente una marcha regular hacia un valor máximo y luego un valor mínimo. Cuando la marcha periódica normal de la temperatura se produce irregularmente se da la situación mencionada anteriormente, presentando temperaturas asincrónicas. Este fenómeno causa un efecto que ocasiona varias floraciones por año, así como también un rápido envejecimiento de la planta pues en la práctica es como si cumpliera varios ciclos por año (De Fina y Ravelo, 1973). Las especies nativas se defienden de este fenómeno

presentando umbrales térmicos elevados y bajos requerimientos de frío (Pascale y Damario, 2004). Estos requerimientos los pueden satisfacer con un invierno relativamente cálido en su área de distribución.

Las variaciones de los momentos de inicio y fin de las distintas fases entre estudios, pueden atribuirse a las variaciones cronológicas y geográficas.

En el sitio de estudio *Handroanthus heptaphyllus* florece a finales de septiembre, extendiéndose esta fase aproximadamente un mes. La brotación ocurre desde octubre hasta finales de noviembre. Fructifica de mediados de noviembre a enero. El follaje comienza a caer en otoño y termina a mediados de julio.

Según Torreta y Cerino (2013), esta especie florece entre fines de agosto y principios de octubre con un pico de floración en el mes de septiembre, en la Reserva 'El Bagual', Formosa. El período de floración de cada individuo es aproximadamente un mes. Los autores detectaron que algunos individuos pueden presentar un segundo y más pequeño pico de floración hacia comienzos del verano.

Lozano y Zapater (2008) describieron el período de floración de *H. heptaphyllus* para su zona de distribución en la Argentina. Indicaron que en Chaco y Formosa la fase se inicia entre mediados de julio y comienzos de agosto y finaliza a principios de diciembre. Ejemplares estudiados en Salta y Jujuy florecen entre mediados de agosto y fines de octubre. Los autores encontraron en una población en la localidad de Vaqueros, Salta, un período inusual de floración desde septiembre hasta diciembre, época en que ya se encuentran los frutos en dehiscencia y aún persisten algunas flores. Al igual que Torreta y Cerino (2013) en este trabajo se vuelve a dar un segundo episodio de floración. Sin embargo, en la presente tesina no se registró dicho episodio para esta especie. Esto puede deberse a que las condiciones climáticas de los sitios donde se observó dicho comportamiento presentan temperaturas medias y humedad relativa mayores a las definidas para la localidad de Zavalla. Comparando los resultados obtenidos en el Parque Villarino con los de Lozano y Zapater (2008) y Torreta y Cerino (2013), se observa que el inicio de la etapa de floración se retrasa, llegando inclusive, a comenzar más de un mes después que en el caso de Lozano y Zapater (2008). Martín *et al.* (1997) señalan que ejemplares de una misma especie en distintas condiciones ambientales, presentan diferencias de hasta 25 días en la floración o fructificación, para el caso de leñosas nativas del Chaco semiárido. Pascale y Damario (2004) argumentan

que las especies de árboles nativas de la región subtropical florecen escalonadamente de norte a sur del país, a medida que logran superar una dada temperatura para disparar el inicio de la brotación o la floración.

En un ejemplar en particular de los estudiados (L3), la floración fue muy corta y casi nula en cantidad de flores. Según Facciuto (2014), *H. heptaphyllus* florece en condiciones naturales a los 4-8 años de cultivo según la zona. Esto explicaría la baja producción de flores que presentó este ejemplar el primer año de observación. Si bien en 2015 y 2016 el número de flores aumentó, la etapa no fue llamativa en comparación con L1 y L2. Sin embargo, no se conoce con exactitud la edad del individuo y por lo tanto no se puede afirmar que sea un ejemplar joven. Además considerando la altura y el diámetro a la altura del pecho (DAP) se puede inferir que el árbol tiene más de ocho años. Coimbra Vieira Costa y Barros de Moraes (2008) plantean que la baja producción de frutos en especies nativas puede deberse a que el episodio floral haya estado expuesto a fuertes vientos e intensas precipitaciones. Sin embargo, durante septiembre y octubre de 2014, las lluvias no fueron significativas. Otra causa que explicaría esta escasa producción es, más probablemente, el bajo servicio realizado por el principal polinizador, por ausencia del mismo o por estar presente en poblaciones reducidas. Por otro lado, *H. heptaphyllus* es una de las especies que presenta vecería (comunicación personal Marta Bianchi, 2017), lo cual provoca escasa floración en algunos años de la vida de los individuos. Este fenómeno es el que más se ajusta a lo observado en el presente trabajo.

El desarrollo de las fenofases de los vegetales, tiene una respuesta universal a la temperatura (Sadras *et al.*, 2000). Esta respuesta es la responsable de la aceleración del crecimiento y desarrollo de las plantas cuando son expuestas a temperaturas más altas que a una determinada T_b (Agüero *et al.*, 2011).

A pesar de que se han calculado diferentes T_b para cada fenofase, se decidió trabajar sólo con una por especie (*E. crista-galli* $T_b=10^{\circ}\text{C}$ y *H. heptaphyllus* T_b de 11°C), tal como lo hicieron Spano *et al.* (1999); Contreras Azanza (2009); del Barrio y Martín (2011).

En cuanto a la acumulación de GD, la etapa de fructificación en ambas especies es la que requiere más calor para completar la fase (835 GD para *E. crista-galli* y 650 GD

para *H. heptaphyllus*), ya que ocurre durante la época del año con mayores temperaturas. Mientras que la fenofase que menos GD requiere es la floración, y esto se debe a que es la fase fenológica más corta del ciclo en *H. heptaphyllus*. Sin embargo, el segundo episodio floral que presenta *E. crista-galli* demuestra requerimientos térmicos muy altos, superando los 700 GD para que esta etapa se cumpla. Esta segunda floración dura más tiempo que la primera, mostrando una menor energía de fase, lo cual puede deberse a que la temperatura del aire supera un umbral máximo ocasionando una desaceleración de la misma. Las fenofases de brotación y de caída de hojas presentan requerimientos similares y con valores intermedios en relación a la floración y fructificación. En *H. heptaphyllus*, la brotación requiere acumular más calor para cumplir con la etapa que en el caso de caída del follaje. Lo inverso ocurre en *E. crista-galli*.

En cuanto a las horas de frío, no se conocen los requerimientos de las dos especies analizadas en este trabajo. La información existente se refiere principalmente a árboles frutales, ya que tienen un aprovechamiento productivo. En este contexto, los árboles de hoja caduca que no logren satisfacer sus requerimientos de frío presentarán una floración retardada, errática y desincronizada, llegando incluso a la abscisión de yemas (Flores, 2008). Lo que se observa en *E. crista-galli* y en *H. heptaphyllus* es que no responden a las variaciones de las horas de frío, a lo largo del período estudiado. El año 2015 presentó menos horas de frío que el año 2014, y las etapas reproductivas no se vieron afectadas. Este comportamiento está relacionado con el área de ocurrencia geográfica de ambas especies, ya que son de áreas tropicales y subtropicales presentando su límite de distribución más austral, para Argentina, en la provincia de Buenos Aires.

El inicio y la duración de las distintas fases varían de año a año y geográficamente, dependiendo de las condiciones climáticas, siendo los factores más importantes los requerimientos de temperatura, agua, fotoperiodo y nutrientes (Gratieri- Sossella, 2005). Analizando la fase de brotación, para las dos especies, es la etapa cuya duración responde en forma significativa a la temperatura del aire. Cuando la temperatura es mayor, la fase se acorta.

Eilb *et al.* (1994) encontraron que no existe influencia de la temperatura acumulada en la duración de la fase de floración, para tres especies de árboles forestales de Misiones. Apuntan a que esta fase debe ser estudiada con la temperatura acumulada antes de su inicio. En la muestra de individuos estudiada y en el corto plazo de dos años, tanto en la primera floración de *E. crista-galli* como en *H. heptaphyllus*, presentan relación entre la temperatura media del aire y la duración de la fase de floración, no coincidiendo con lo postulado por Eilb *et al.* (1994). Se destaca que la relación lineal es negativa para ambas especies y estadísticamente significativa ($\alpha = 0,01$) sólo para *H. heptaphyllus*, de manera que al aumentar la temperatura del aire se acorta la etapa. Sin embargo para la segunda floración de *E. crista-galli* los resultados encontrados sugieren que las altas temperaturas previas al inicio de la floración podrían provocar un retraso en el comienzo de la fase.

De acuerdo a la época de floración *H. heptaphyllus* es un árbol con una respuesta fotoperiódica de día largo. Mientras que en *E. crista-galli* los momentos de los eventos de floración indicarían que es una especie indiferente al fotoperíodo.

Para la etapa de fructificación la relación lineal entre la temperatura del aire y la duración de la fase presenta un comportamiento inverso a la etapa anterior, ya que al aumentar la temperatura se alarga la fenofase. De los dos años de evaluación, la fructificación de ambas especies fue más larga en el segundo año, donde las temperaturas fueron mayores. Este comportamiento podría deberse al efecto de las altas temperaturas que superan al umbral térmico óptimo, lo cual genera un efecto negativo extendiendo la duración de la fase. Cabe destacar que no existe bibliografía disponible sobre los umbrales de temperaturas para el crecimiento y el desarrollo de estas especies. Paralelamente a este análisis se evalúan las temperaturas ocurridas en el subperíodo floración-fructificación, siguiendo lo postulado por Eilb *et al.* (1994). Como resultado del mismo se interpreta que la duración de la fase de fructificación responde a la variabilidad interanual de las temperaturas del aire que se dan antes del inicio de la fase.

Se encuentra que la caída del follaje sólo presenta relación con la temperatura del aire para *H. heptaphyllus*, no así para *E. crista-galli*. Esto sugiere que existe otro factor que está modificando la duración de esta etapa fenológica, siendo probablemente el fotoperíodo, según indican Pacheco y Yapur (2006), quienes encontraron influencia de esta variable en dos especies de cedro en las Yungas, Jujuy.

Estudios previos (Peñuelas *et al.*, 2002; Galán *et al.*, 2005; Gordo y Sanz, 2005) constatan que el aumento de la temperatura es el principal factor que afecta al avance en las fenofases de foliación, floración, fructificación y retrasa la caída de las hojas. Así como que los cambios fenológicos muestran una fuerte correlación con los cambios de temperatura y especialmente con la temperatura durante los meses anteriores a la fenofase (Hernández Aroca, 2012). En síntesis, en este estudio, la temperatura es el factor principal que afecta la duración de las fases de floración, brotación, caída de follaje para *H. heptaphyllus*, mientras que para *E. crista-galli* esta relación es significativa sólo para la fase de brotación. Este resultado destaca la importancia de continuar analizando otras variables climáticas y su efecto en relación con el comportamiento de las fenofases. Estudios futuros podrían incluir el análisis de variables tales como fotoperíodo, intensidad de radiación solar, amplitud térmica y precipitaciones, para evaluar cuál es su efecto sobre el comportamiento de las etapas fenológicas.

En cuanto a los resultados obtenidos de las diferencias de las temperaturas registradas en la Estación Meteorológica y las medidas debajo de las cubiertas arbóreas de ambas especies, sugieren que la vegetación ocasiona un microclima diferente debajo de la cubierta con respecto al aire que circunda al abrigo meteorológico donde se encuentra el termómetro en la Estación Meteorológica. Sin embargo, durante las fechas en que los árboles están cubiertos con flores y follaje, las temperaturas mayores se dan debajo de la cubierta arbórea. Esto se debe a que, al encontrarse el termómetro dentro del abrigo meteorológico la radiación que incide sobre él es reflejada, ya que está pintado de blanco, mientras que las hojas y flores de los árboles absorben radiación solar y emiten contrarradiación de onda larga, lo cual calienta el suelo y el aire, aumentando la temperatura del mismo.

Para las dos especies no existen registros fenológicos ni datos bioclimáticos en la zona para poder compararlos con los resultados obtenidos en el presente trabajo. Es por eso que sería de interés que se comenzaran a realizar observaciones en diferentes puntos de la región, en poblaciones con mayor número de individuos y durante más años de registro; e incluso en ciudades para poder armar una base de datos consistente de

información fenológica de calidad. Incluir a los árboles que ornamentan las ciudades es un punto muy interesante a tener en cuenta. Durante los años de observación que duró el trabajo de tesina fue interesante que las dos especies estudiadas, en las ciudades de Rosario, Casilda y Zavalla, tenían sus inicios de fases antes que lo que ocurría en el Parque Villarino (observación personal). Probablemente, esto se deba a la isla de calor que se forma en las áreas urbanas (Coronel *et al.*, 2015), pero deberían realizarse los estudios correspondientes para poder comprobar esta hipótesis.

VII. CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos se concluye que la temperatura del aire es uno de los factores que afecta la aparición y desaparición de órganos en las plantas, ya sea de forma positiva o negativa. Es decir, acelerando o desacelerando la fase, o bien, favoreciendo o siendo adversa para el cumplimiento del ciclo de la planta. En cuanto a ello se podría decir que la primera hipótesis planteada se comprueba parcialmente dado que en algunas fases la temperatura fue el principal factor que actuó sobre la ocurrencia de las mismas. En tanto en otras etapas su efecto no fue significativo.

La fase de floración se inicia cuando las temperaturas del aire comienzan a ascender y los días se alargan en *Handroanthus heptaphyllus* y para la primera floración de *Erythrina crista-galli*. En esta última especie el segundo evento de floración comienza cuando el semestre cálido ya ha avanzado y los días se acortan. Estos resultados permiten que se acepte la segunda hipótesis planteada sólo para el caso de *H. heptaphyllus*, y sólo parcialmente para *E. crista-galli*.

La etapa fenológica de fructificación requiere superar un alto umbral de temperatura para comenzar la acumulación de calor, el cual es superior a los 20° C como se planteara en la tercera hipótesis y se determinara a partir de los cálculos de Tb para dicha fase. Algunos investigadores dividen a la etapa de fructificación en crecimiento del fruto y maduración del fruto, y determinan que el crecimiento del fruto está directamente relacionado con la temperatura acumulada, no ocurriendo lo mismo en la maduración del fruto. Es conveniente para estudios posteriores y para un mejor análisis dividir esta fenofase así como incluir a la etapa de dehiscencia.

Los árboles estudiados no responden a la acumulación de frío para llevar adelante las etapas de floración y fructificación. Esto tiene que ver con que *H. heptaphyllus* es una especie subtropical y *E. crista-galli* está adaptada a regiones templadas húmedas. Por lo tanto y en función de esta afirmación se rechaza la hipótesis de la necesidad de acumular horas de frío de las especies estudiadas para la ocurrencia de las fases de floración y fructificación.

La variabilidad climática de la temperatura del aire afecta la duración de las fases fenológicas de brotación, floración y caída del follaje. Este resultado al igual que para la primera hipótesis, sólo permite aceptar parcialmente la quinta hipótesis planteada en este trabajo. Dado que se ha comprobado que la temperatura sólo afecta la duración de las fases ya mencionadas, no así a la fructificación. Por otro lado el efecto de la temperatura no es igualmente significativo para ambas especies estudiadas ni en todas las etapas.

Se puede concluir que el cálculo de GD y la estimación de las horas de frío constituyen índices biometeorológicos que permiten conocer los requerimientos térmicos de las especies y en función de ello determinar si un sitio en particular los satisface.

Este trabajo de tesina aporta información acerca de la fenología de dos especies de árboles nativos de nuestro país, de las cuales no existen registros previos en la zona de estudio en relación a este tema. Constituye un aporte sobre la relación de las etapas fenológicas con el ambiente meteorológico al cual, circunstancialmente, están sometidas. Con este estudio se busca comenzar a llenar un vacío de información Bioclimática.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

- Agüero SN; Ojeda Férez E; Giraldez A; Galleguillo N; Barbieri G; Zeman E; Tolosa G; Villegas JA; Costa MC; Martín GO. 2011. Acumulación de grados-día entre siembra y cosecha y rendimiento granífero obtenido, en cereales invernales. En: Ulla EL; Rodríguez Rey JA (Eds compiladores). Avances en la Producción Vegetal y Animal del NOA 2009-2011. San Miguel de Tucumán. Ed. FAZ-UNT. p: 318-323.
- Alencar J da C. 1994. Fenología de cinco espécies arbóreas tropicais de Sapotaceae correlacionada a variáveis climáticas na reserva Ducke, Manaus, AM. Acta Amazonica 24(1): 161-182.
- Alencar J da C; Almeida RA; Fernandes NP. 1979. Fenología de espécies florestais em floresta tropical úmida de terra firme na Amazônia Central. Acta Amazonica 9(1): 163-198.
- Arnold CY. 1959. The determination and significance of the base temperature in a linear heat unit system. Proceedings of the American Society for Horticultural Science 74: 430-455.
- Arnold CY. 1960. Maximum-minimum temperatures as a basis for computing heat units. Proceedings of the American Society for Horticultural Science 76: 682-692.
- Barrios-Gómez EJ; López-Castañeda C. 2009. Temperatura base y tasa de extensión foliar en frijol. Agrociencia 43(1): 29-35.
- Bertossi ME; Prieto AB; Rumene SL. 2010. Resultados preliminares de los estudios fenológicos de *Populus sp* en el Valle de San Cabao (Nor-Oeste de la Patagonia, Argentina). Tercer Congreso Internacional de Salicáceas en Argentina.
- Burgos JJ. 1952. El termoperiodismo como factor bioclimático en el desarrollo de los vegetales. Meteoros. Año II N° 2: 215-242.
- Cáceres DA; Sánchez V; Gon VR; Rubiano RP. 2010. Estudios Fenológicos de *Patagonula americana* L. y *Astronium balansae* Engl. de la provincia de Formosa. Revista Forestal Yvyrareta 17: 6-13.
- Castillo H; Santibáñez F. 1987. Efecto de la temperatura sobre la fenología del trigo (cultivar Aurifén). Agricultura Técnica 47(1): 29-34.

- Chaar J; Astorga D. 2012. Determinación del requerimiento de frío y de calor en duraznero [*Prunus persica* (L.) Batsch.] mediante un modelo de correlación. *Revista de Investigaciones Agropecuarias* 38(3): 289-298.
- Coimbra Vieira Costa RA y Barros de Morais AB. 2008. Fenología e visitantes florais de *Erythrina crista-galli* L. (Leguminosae: Faboideae) em Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil. *Biotemas* 21(2): 51- 56.
- Cole TCH; Hilger HH; Medan D. 2016. Angiosperm Phylogeny Poster–Flowering Plant Systematics.
- Confalone AE; Bernardes MS; Costa LC; Righi CA; Dourado-Neto D; Martin TN; Manfron PA; Pereira CR. 2010. Expolinear model on soybean growth in Argentina and Brazil. *Ciencia Rural* 40: 1009–1016.
- Contreras Azanza N. 2009. Caracterización agroclimática y potencial del sector olivícola en Coronel Dorrego y Río Colorado. Trabajo de intensificación. Departamento de agronomía. Universidad Nacional del Sur.
- Coronel A, Costanzo M, Sacchi O. 2012. Variabilidad climática de los componentes del balance hídrico seriado en el sur de Santa Fe. *Ciencias Agronómicas* XIX: 7-11.
- Coronel AS; Feldman SR; Jozami E; Kehoe F; Piacentini RD; Dubbeling M; Escobedo FJ. 2015. Effects of urban green areas on air temperature in a medium-sized Argentinian city. *Environmental Science* 2(3): 803-826.
- Damario EA. 1985. Aproximación de los valores agroclimáticos de temperaturas efectivas y unidades calóricas. *Revista Industrial y Agrícola de Tucumán* 62(1): 5-16.
- Damario ER; Pascale AJ. 1971. Estimación de la suma de temperaturas efectivas normales para estudios agroclimáticos. *Revista de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de Buenos Aires* 19(3): 109-124.
- De Azkues M. 2008. La fenología como herramienta en la agroclimatología. <http://www.infoagro.com/frutas/fenologia.htm>. Acceso: 24 de agosto de 2016.
- De Fina AL; Ravelo AC. 1973. Climatología y Fenología Agrícolas. Editorial Universitaria de Buenos Aires. p. 281.
- del Barrio RA; Martín DM. 2011. Aptitud Agroclimática del Valle Inferior del Río Negro para los cultivos de Avellano y Nogal. *Revista Pilquen Año XIII* N° 11.

- Eilb BI; Silva F; Bobadilla E. 1994. Bioclimatología de especies forestales nativas misioneras. Tercera Jornada de Trabajo sobre Ecología de Especies Nativas de la Selva Subtropical Misionera. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de Misiones. p. 1-4.
- Facciuto G. 2014. INTA Manual de Cultivo Lapacho variedades INTA 'Sorpresa Rosa Inta'. p. 6.
- Flores PC. 2007. Requerimiento de frío en frutales: efectos negativos en la producción de frutas (primera parte). Agromensajes de la Facultad de Ciencias Agrarias de la UNR. N° 23.
- Flores PC. 2008. Requerimiento de frío en frutales: Modelos para predecir la ruptura de la dormición. Defoliación anticipada. Compuestos que ayudan a suplir la falta de frío (Segunda parte). Agromensajes de la Facultad de Ciencias Agrarias de la UNR. N° 24
- Galán C; García-Mozo H; Vázquez L; Ruiz L; Díaz de la Guardia C; Trigo MM. 2005. Heat requirement for the onset of the *Olea europaea* L. pollen season in several sites in Andalusia and the effect of the expected future climate change. International Journal of Biometeorology 49: 184-188.
- Galetto L; Bernardello G; Isele IC; Vesprini J; Speroni G; Berduc A. 2000. Reproductive biology of *Erythrina crista-galli* (Fabaceae). Annals of the Missouri Botanical Garden 87: 127-145.
- Garabatos M. 1990. Temas de Agrometeorología. Tomo 1. Consejo de Ingeniería Agronómica y Orientación Gráfica Editora. Cap III. p. 116.
- García L; Droppelmann F.; Rivero M. 2013. Morfología y fenología floral de *Nothofagus alpina* (Nothofagaceae) en un huerto semillero clonal de la región de Los Ríos, Chile. Bosque 34(2): 221-231.
- García-Pacheco AD; López-Castañeda C. 2002. Temperatura base y tasa de extensión foliar del maíz. Revista Fitotecnia Mexicana 25(4): 381-386.
- García R; Dip L; Esponda M; Gattuso M; Gattuso S; Lusardi M; Mc Cargo J. 2003. Parque José F. Villarino. Arboledas en la Localidad de Zavalla. Cátedra de Botánica Sistemática, FCA, UNR. p: 7-35.

- Gastaud J; Anibalini VA. 2015. Fenología de dos especies arbóreas nativas: primer ciclo. Publicación Periódica Anual de la Sociedad de Biología de Rosario. p. 164.
- Gordo O; Sanz JJ. 2005. Phenology and climate change: a long-term study in a Mediterranean locality. *Oecology* 146(1): 484–495.
- Gratieri-Sossella A. 2005. Potencialidade ornamental e paisagística, caracterização morfo-anatômica e propagação de *Erythrina crista-galli* L. Tesis de maestría en agronomía. Universidade de Passo Fundo. Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária. Programa de pós-graduação em Agronomia.
- Grupo Intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático. 2001. Tercer Informe de Evaluación. Cambio Climático 2001: impactos, adaptación y vulnerabilidad.
- Hernández Aroca MD. 2012. Trabajo Fin de Máster: Respuestas al Cambio Climático en la Fenología de plantas y animales desde 1945 hasta 2009 en la Región de Murcia, UCAM.
- Ledesma NR. 1953. Registro Fitofenológico Integral. *Meteoros*. Año III N°1: 123.
- Lozano EC; Zapater MA. 2008. Delimitación y estatus de *Handroanthus heptaphyllus* y *H. impetiginosus*. (Bignoniaceae, Tecomeae). *Darwiniana* 46(2): 304-317.
- Lozano EC; Zapater MA. 2010. El género *Erythrina* (Leguminosae) en Argentina. *Darwiniana* 48(2): 179-20.
- Martín GO, Nicosia MG, Colombo MB, Lucas J. 1997. Fenología de Floración y Fructificación en leñosas nativas del Chaco semiárido de Tucumán y algunas consideraciones para su aprovechamiento forrajero. *Revista Agronómica del Noroeste Argentino* 29(1): 65–85.
- McMaster GS; Wilhelm WW. 1997. Growing degree-days: one equation, two interpretations. *Agricultural and Forest Meteorology* 87(1): 291-300.
- Molinaro G; Gastaud J; Anibalini VA. 2016. Influencia de la temperatura en cuatro especies de árboles nativos. XVII Jornadas de Divulgación Técnico-Científicas 2016. FCV. IV Jornada Latinoamericana II Jornadas de Ciencia y Tecnología 2016. FCAGR. I Reunión Transdisciplinaria en Ciencias Agropecuarias 2016, UNR. Casilda y Zavalla.

- Montealegre JE; Pavón JD. 2000. La Variabilidad Climática Interanual asociada al ciclo El Niño-La Niña–Oscilación del Sur y su efecto en el patrón pluviométrico de Colombia. *Meteorología Colombiana* 2:7-21.
- Murphy GM; Hurtado RH. 2013. *Agrometeorología*. Buenos Aires. Editorial Facultad de Agronomía. p. 424.
- Nightingale GT; Blake MA. 1934. Effect of temperature on the growth and metabolism of Elberta peach trees with notes on the growth responses of other varieties. *Bulletin / New Jersey Agricultural Experiment Station*. p: 567.
- Ochoa-Gaona S; Pérez Hernández I; de Jong BHJ. 2008. Fenología reproductiva de las especies arbóreas del bosque tropical de Tenosique, Tabasco, México. *Revista de Biología Tropical* 56(2): 657-673.
- Pacheco S; Yapur A. 2006. Fenología de dos especies de cedro en un gradiente altitudinal del Parque Nacional Calilegua, Jujuy. *Ecología y producción de cedro (género Cedrela) en las Yungas australes*. Pacheco S. y Brown A. (Eds.). LIEY-ProYungas. Argentina. p. 31-40.
- Pascale AJ; Damario EA. 2004. *Bioclimatología agrícola y agroclimatología*. Ed. Facultad de Agronomía, UBA. p.550.
- Pascale AJ; Damario EA. 2013. Acción de los elementos meteorológicos sobre los cultivos. En: Murphy GM; Hurtado RH (Eds). *Agrometeorología*. Buenos Aires. Editorial Facultad de Agronomía. p. 424.
- Pascale AJ; Damario EA. 2013. Índices biometeorológicos y agroclimáticos. En: Murphy GM; Hurtado RH (Eds). *Agrometeorología*. Buenos Aires. Editorial Facultad de Agronomía. p. 267-293.
- Pascale AJ; Damario EA. 2013. Fenología. En: Murphy GM; Hurtado RH (Eds). *Agrometeorología*. Buenos Aires. Editorial Facultad de Agronomía. p. 195-206.
- Pascale AJ; Ruggiero RA. 1963. Exigencias de las bajas temperaturas durante el período de los ciruelos cultivados en Buenos Aires. *IDIA* 184: 35-45.
- Peñuelas J; Filella I; Comas P. 2002. Changed plant and animal life cycles from 1952 to 2000 in the Mediterranean region. *Global Change Biology* 9: 531-544.
- Peñuelas J; Sabaté S; Filella I; Gracia C. 2004. Efectos del cambio climático sobre los ecosistemas terrestres: observación, experimentación y simulación. En: Valladares, F (Ed). *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*.

Ministerio de medio Ambiente, Organismo Autónomo de Parques Nacionales, Madrid. p. 425-460.

- Prause J; Angeloni P. 2000. Fenología de especies forestales nativas: abscisión de hojas. Comunicaciones científicas y tecnológicas 2000. Universidad Nacional del Nordeste.
- Rohde A; Bhalerao RP. 2007. Plant dormancy in the perennial context. Trends in Plant Science 12(5): 217-223.
- Sacchi O, Dalla MN, Costanzo M, Coronel A. 2002. Caracterización de las precipitaciones en la zona de Zavalla. Revista de Investigación de la Facultad de Ciencias Agrarias UNR 2: 91-103.
- Sadras VO; Ferreiro M; Gutheim F; Kantolic AG. 2000. Desarrollo fenológico y su respuesta a temperatura y fotoperiodo. En: Andrade FH, Sadras VO. Bases para el Manejo del Maíz, el Girasol y la Soja. Edit. Médica Panamericana, Bs. As., Argentina. p: 29-60.
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Secretaría de Agricultura y Ganadería de la Nación. 1988. Carta de suelos de la República Argentina. Hoja 3360 – 13 y 14. Cañada de Gómez y Rosario. Provincia de Santa Fe. Ministerio de Agricultura y Ganadería. p. 98-100.
- Soto A; Apablaza J; Norero A; Estay P. 1999. Requerimientos térmicos de *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae) en tomate (*Lycopersicon esculentum*). Ciencia e Investigación Agraria 26(1): 37-42.
- Spano D; Cesaraccio C; Duce P; Snyder RL. 1999. Phenological stages of natural species and their use as climate indicators. International Journal of Biometeorology 42: 124–133.
- Torretta JP; Cerino MC. 2013. Biología reproductiva de tres especies simpátricas de Bignoniaceae en Argentina. Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica 48(1): 73-89.
- Williams G; Meave JA. 2002. Patrones fenológicos. En: Guariguata MR; Kattan GH. Ecología y conservación de bosques neotropicales. Editorial LUR. p: 407-431.
- Wright SJ; Van Schaik CP. 1994. Light and the phenology of tropical trees. The American Naturalist 143(1): 192-199.

- Zapater MA; Califano LM; Del Castillo EM; Quiroga MA; Lozano EC. 2009. Las especies nativas y exóticas de *Tabebuia* y *Handroanthus* (Tecomeae, Bignoniaceae) en Argentina. *Darwiniana* 47(1): 185-220.

IX. ANEXO



Figura A.1. Imagen satelital del Parque J. F. Villarino. Los puntos señalizados corresponden a los sitios donde se encuentran los árboles bajo estudio (arriba ceibos, abajo lapachos). Imagen extraída de Google Earth.

Tabla A.1. Planilla utilizada para tomar los datos a campo.

Especie					
Fecha	Floración	Brotación	Fructificación	Caída del follaje	Observaciones

Tabla A.2. Resultado del cálculo de Tb por el método del menor CV para el primer episodio de Floración de *Erythrina crista-galli*.

	Floración				
	0°C	2°C	5°C	7°C	10°C
	477	431	362	316	247
	609	551	464	406	319
	459	415	349	305	239
	517	467	392	342	267
	517	467	392	342	267
	672	602	497	427	322
	936	848	716	628	496
	756	682	571	497	386
	756	682	571	497	386
	756	682	571	497	386
Promedio	645,5	582,7	488,5	425,7	331,5
Desvío	156,0	141,1	118,7	103,8	81,7
CV	24,17	24,21	24,30	24,39	24,66

Tabla A.3. Resultado del cálculo de Tb por el método del menor CV para el segundo episodio de Floración de *E. crista-galli*.

	Floración adicional					
	0°C	2°C	5°C	7°C	10°C	11°C
	1492	1362	1167	1037	842	777
	1911	1739	1481	1309	1051	965
	1806	1648	1411	1253	1016	937
	892	816	702	626	512	474
	493	451	388	346	283	262
	2052	1870	1597	1415	1142	1051
	669	613	529	473	389	361
	894	808	679	593	464	421
	2147	1965	1692	1510	1237	1146
	824	750	639	565	454	417
Promedio	1318,1	1202,3	1028,6	912,8	739,1	681,2
Desvío	628,4	573,6	491,5	436,8	355,0	327,8
CV	47,67	47,71	47,8	47,9	48,0	48,1

Tabla A.4. Resultado del cálculo de Tb por el método del menor CV para la fase de Brotación de *E. crista-galli*.

	Brotación					
	0°C	2°C	5°C	7°C	10°C	11°C
	699	625	514	440	329	292
	610	540	435	365	260	225
	610	540	435	365	260	225
	642	568	457	383	272	235
	770	686	560	476	350	308
	1391	1219	961	789	537	455
	1885	1671	1350	1136	820	718
	1577	1393	1117	933	662	574
	1123	989	788	654	453	386
	1705	1505	1205	1005	711	615
Promedio	1101,2	973,6	782,2	654,6	465,2	403,3
Desvío	500,6	441,0	351,8	292,5	206,4	179,3
CV	45,46	45,30	44,98	44,68	44,37	44,46

Tabla A.5. Resultado del cálculo de Tb por el método del menor CV para la fase de Fructificación de *E. crista-galli*.

	Fructificación				
	0°C	2°C	5°C	7°C	10°C
	1632	1488	1277	1128	912
	1186	1080	921	815	656
	651	589	496	434	341
	875	793	670	588	465
	819	745	634	560	449
	961	881	761	681	561
	2710	2476	2125	1891	1540
	1684	1548	1344	1208	1004
	1838	1688	1463	1313	1088
	2252	2068	1792	1608	1332
Promedio	1460,8	1335,6	1148,3	1022,6	834,8
Desvío	678,6	623,8	541,9	487,2	405,5
CV	46,45	46,71	47,19	47,64	48,58

Tabla A.6. Resultado del cálculo de Tb por el método del menor CV para la fase de Caída del follaje de *E. crista-galli*.

Caída del follaje					
	0°C	2°C	5°C	7°C	10°C
	960	830	636	512	335
	1418	1260	1023	865	628
	2021	1789	1443	1215	886
	1347	1195	967	815	588
	1887	1685	1382	1180	877
	1237	1035	732	535	277
	1023	879	663	519	322
	1163	1005	768	610	391
	1300	1128	870	698	459
	1147	961	682	503	267
Promedio	1350,4	1176,8	916,6	745,2	503,0
Desvío	348,7	324,6	291,2	270,4	233,8
CV	25,82	27,58	31,77	36,29	46,48

Tabla A.7. Resultado del cálculo de Tb por el método del menor CV para la fase de Floración de *Handroanthus heptaphyllus*.

Floración							
	0°C	2°C	5°C	7°C	10°C	11°C	12°C
	339	297	234	192	129	108	87
	610	540	435	365	260	225	190
	341	311	266	236	191	176	161
	667	583	457	373	249	208	169
	667	583	457	373	249	208	169
	724	638	509	423	295	253	213
Promedio	558,0	492,0	393,0	327,0	228,7	196,2	164,8
Desvío	172,7	149,0	113,9	91,0	59,4	50,2	42,8
CV	30,95	30,28	28,98	27,84	25,95	25,57	25,95

Tabla A.8. Resultado del cálculo de Tb por el método del menor CV para la fase de Brotación de *H. heptaphyllus*.

		Brotación						
		0°C	2°C	5°C	7°C	10°C	11°C	12°C
		893	807	678	592	463	420	377
		687	619	517	449	347	313	279
		687	619	517	449	347	313	279
		1082	968	797	683	512	455	398
		967	857	692	582	419	362	313
		779	695	569	485	359	317	275
Promedio		849,1	760,8	628,3	540,0	407,7	363,3	320,1
Desvío		159,8	140,7	112,6	94,4	69,0	61,4	54,4
CV		18,82	18,50	17,92	17,49	16,93	16,90	16,98

Tabla A.9. Resultado del cálculo de Tb por el método del menor CV para la fase de Fructificación de *H. heptaphyllus*.

		Fructificación						
		0°C	2°C	5°C	7°C	10°C	11°C	12°C
		608	552	468	412	328	300	272
		1364	1242	1059	937	754	693	632
		753	687	588	522	423	390	357
		1617	1481	1277	1141	937	869	801
		1774	1618	1384	1228	994	916	838
		1348	1236	1068	956	788	732	676
Promedio		1244,1	1136,1	974,1	866,1	704,1	650,1	596,1
Desvío		467,0	427,8	369,0	329,8	271,3	251,9	232,5
CV		37,54	37,65	37,88	38,09	38,54	38,74	39,00

Tabla A.10. Resultado del cálculo de Tb por el método del menor CV para la fase de Caída del follaje de *H. heptaphyllus*.

		Caída del follaje					
		0°C	2°C	5°C	7°C	10°C	11°C
		1048	876	620	457	245	190
		1037	885	659	514	318	262
		1078	932	715	574	376	317
		1004	808	516	334	113	67
		1536	1298	943	718	419	342
		1168	958	645	449	202	147
Promedio		1145,2	959,5	682,9	507,7	278,8	220,8
Desvío		199,3	173,5	143,1	130,4	114,2	105,5
CV		17,40	18,09	20,95	25,68	40,97	47,77

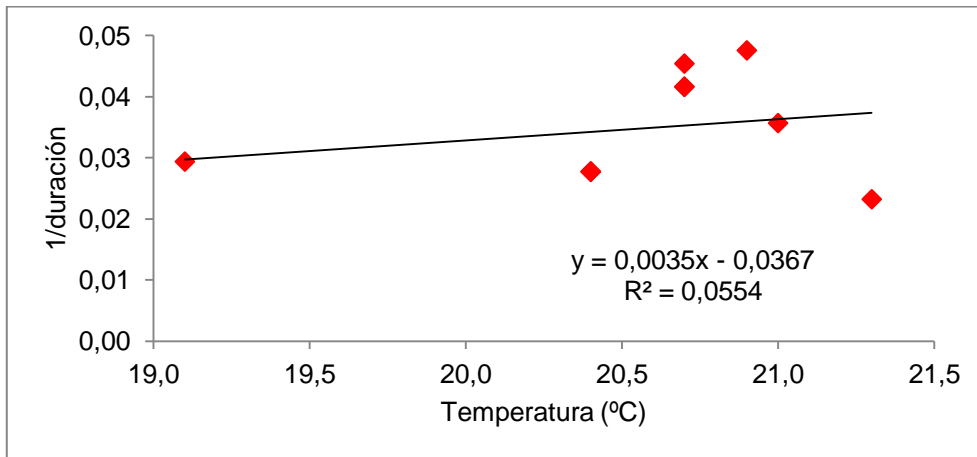


Figura A.2. Resultado del cálculo de T_b por el método de la intercepción de las equis para el primer episodio de Floración de *E. crista-galli*.

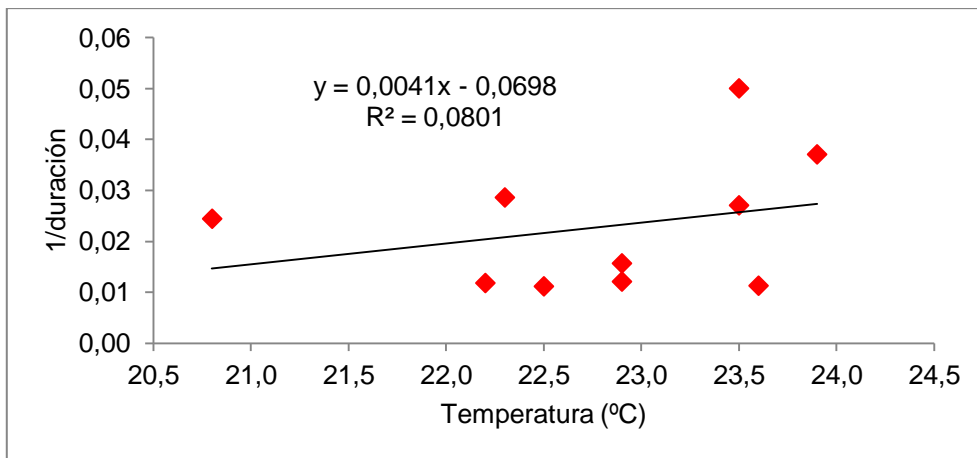


Figura A.3. Resultado del cálculo de T_b por el método de la intercepción de las equis para el segundo episodio de Floración de *E. crista-galli*.

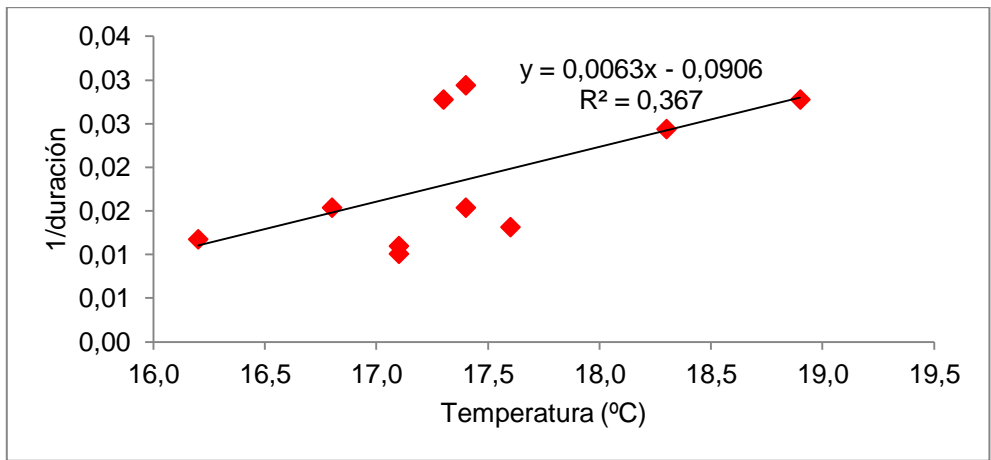


Figura A.4. Resultado del cálculo de T_b por el método de la intercepción de las equis para la fase de Brotación de *E. crista-galli*.

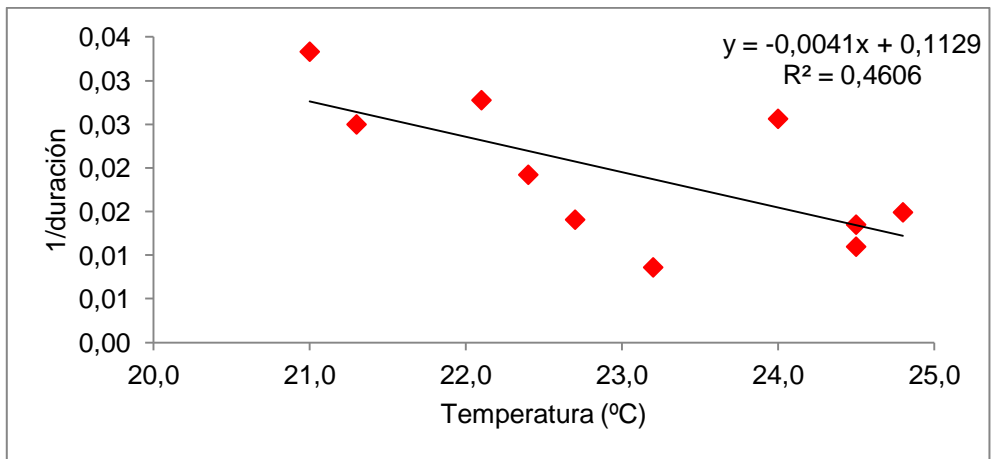


Figura A.5. Resultado del cálculo de T_b por el método de la intercepción de las equis para la fase de Fructificación de *E. crista-galli*.

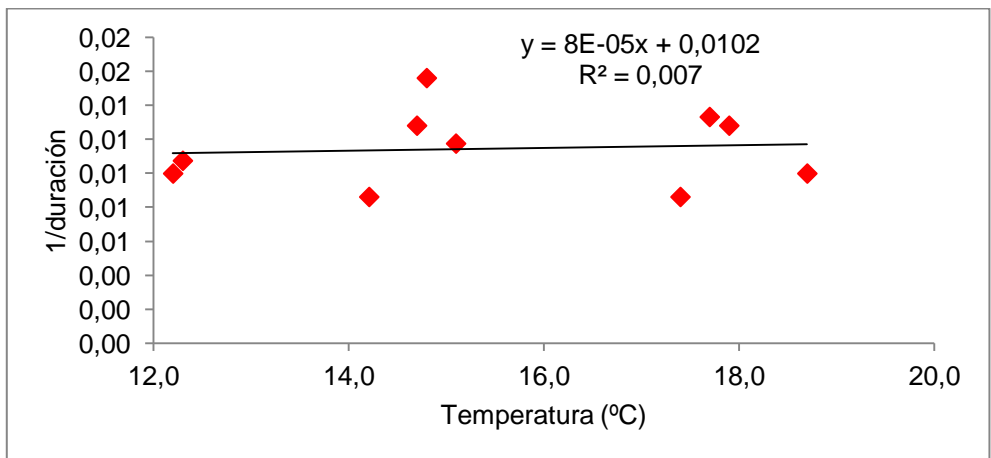


Figura A.6. Resultado del cálculo de T_b por el método de la intercepción de las equis para la fase de Caída del follaje de *E. crista-galli*.

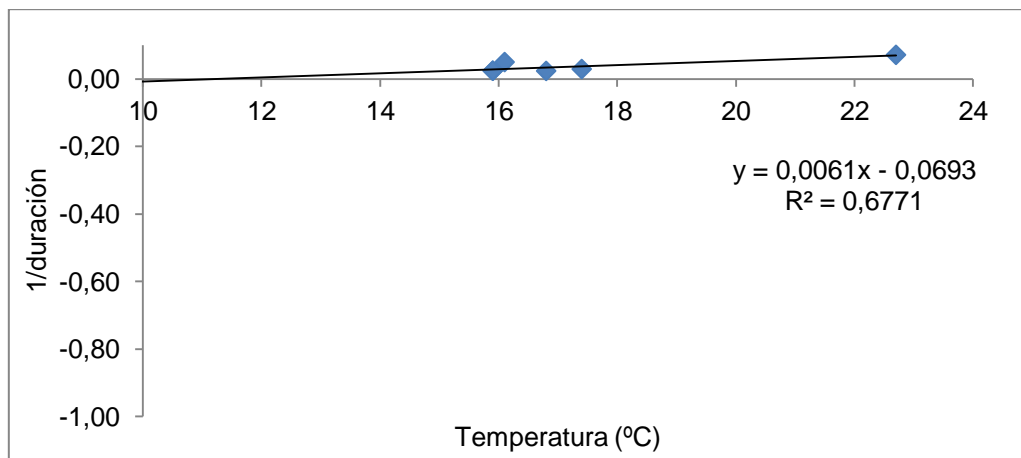


Figura A.7. Resultado del cálculo de Tb por el método de la intercepción de las equis para la fase de Floración de *H. heptaphyllus*.

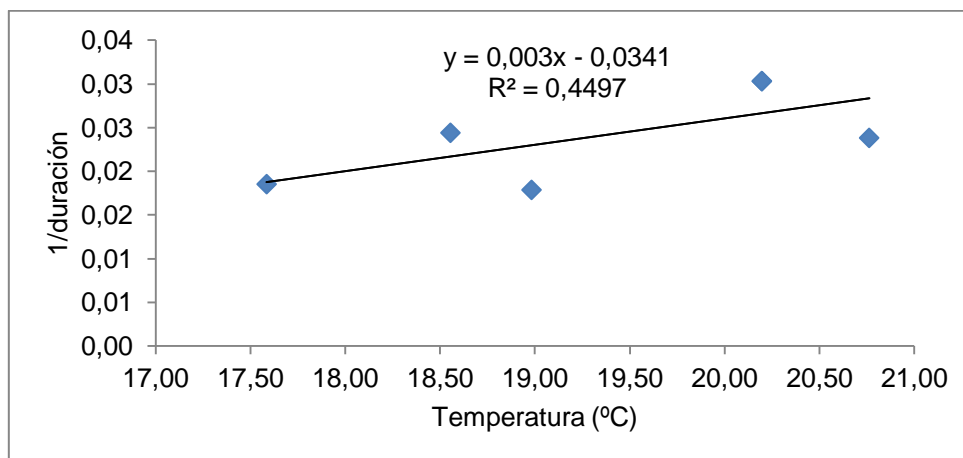


Figura A.8. Resultado del cálculo de Tb por el método de la intercepción de las equis para la fase de Brotación de *H. heptaphyllus*.

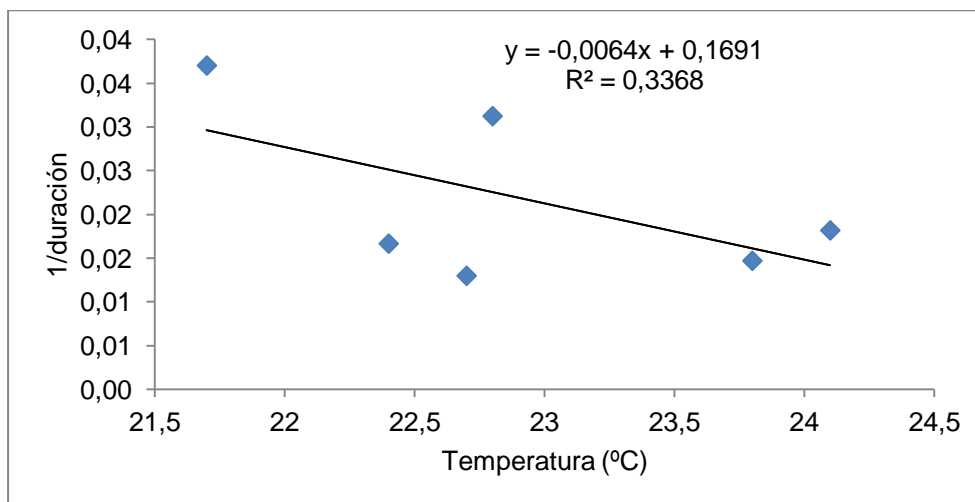


Figura A.9. Resultado del cálculo de Tb por el método de la intercepción de las equis para la fase de Fructificación de *H. heptaphyllus*.

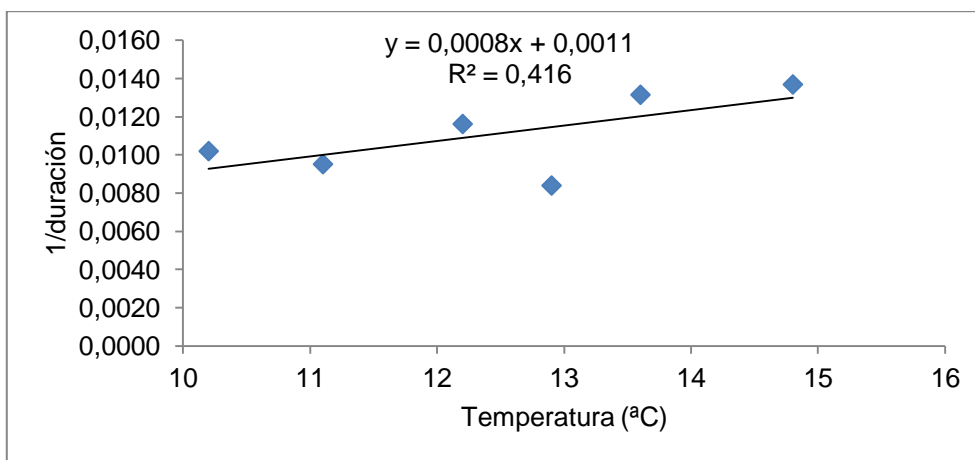


Figura A.10. Resultado del cálculo de T_b por el método de la intercepción de las equis para la fase de Caída del follaje de *H. heptaphyllus*.

Tabla A.13. GD acumulados con sus correspondientes desvíos para *E. crista-galli*.

Fases	GD acumulados	
	Promedio	Desvío
Brotación	465	206,4
Floración	331	81,7
Floración adicional	739	355
Fructificación	835	405,5
Caída del follaje	503	233,8

Tabla A.14. GD acumulados con sus correspondientes desvíos para *H. heptaphyllus*.

	GD acumulados	
	Promedio	Desvío
Floración	196	50,2
Brotación	363	61,4
Fructificación	650	251,9
Caída del follaje	221	105,5

Tabla A.15. Inicio, plenitud, fin y duración anual para las fases fenológicas de *E. crista-galli*.

		Inicio	Plenitud	Fin	Duración
2014/2015	Brotación	19-sep	06-oct	31-oct	42
	Floración	13-oct	25-oct	06-nov	24
	Fructificación	04-nov	24-nov	20-dic	46
	Floración 2	19-dic	15-ene	15-feb	58
	Caída hojas	20-mar	05-may	15-jun	87
2015/2016	Brotación	01-sep	08-oct	23-nov	83
	Floración	27-oct	16-nov	03-dic	37
	Fructificación	30-nov	09-ene	15-feb	77
	Floración 2	23-ene	25-dic	20-mar	57
	Caída hojas	28-mar	14-may	21-jun	85

Tabla A.16. Inicio, plenitud, fin y duración anual para las fases fenológicas de *H. heptaphyllus*.

		Inicio	Plenitud	Fin	Duración
2014/15	Floración	27-sep	09-oct	20-oct	23
	Brotación	08-oct	27-oct	13-nov	36
	Fructificación.	17-nov	07-dic	27-dic	40
	Caída hojas	06-may	28-may	23-jul	77
2015/16	Floración	27-sep	14-oct	07-nov	41
	Brotación	08-oct	02-nov	27-nov	50
	Fructificación.	10-nov	19-dic	15-ene	66
	Caída hojas	11-abr	24-jun	26-jul	106