

## 2.1. Cultivo de la fresa

### 2.1.1. Características botánicas, fisiología y tipos de variedades de fresas

Daniel S. Kirschbaum

[kirschbaum.daniel@inta.gob.ar](mailto:kirschbaum.daniel@inta.gob.ar)

*Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Argentina*

#### Índice

1. Taxonomía, diversidad y distribución geográfica del género *Fragaria*, y orígenes de la fresa cultivada
2. Anatomía y morfología
3. Aspectos ecofisiológicos relevantes
4. Variedades

#### Resumen

La fresa pertenece a la familia Rosaceae. Deriva de un cruzamiento entre *F. virginiana* y *F. chiloensis*, en Francia, 1765. El género *Fragaria* incluye 27 especies, las cuales en su gran mayoría se encuentran en zonas templadas del hemisferio norte y constituyen un incalculable reservorio de genes para programas de mejora genética. El desarrollo vegetativo y reproductivo de la fresa está regulado por un conjunto complejo de señales ambientales y fisiológicas cuya interacción se traduce en respuestas en términos de crecimiento, partición de asimilados, fenología, rendimiento agronómico y la composición química del fruto. Algunas temperaturas críticas para la fresa: floración 23/18°C (día/noche); acumulación de horas-frío 0-7,2°C; fotosíntesis 15-27°C; crecimiento de la corona 18°C; crecimiento de raíces 10°C; detención del crecimiento 2-5°C; muerte de yemas florales 0°C; alteración de la floración -1° y >29°C; daño total en flores -3°C; daños en la corona y muerte de plantas -12°C. Hay tres tipos de plantas de fresa: “día corto (DC)”, “día largo (DL)” y “día neutro (DN)”, en función de la respuesta al fotoperíodo para la inducción floral. DC: requieren fotoperíodos <14 h para florecer, ideales para producción en otoño, invierno y primavera en regiones con climas templados y cálidos; DN: indiferentes al fotoperíodo para florecer, ideales para producción de verano en regiones con veranos frescos, e idem DC; DL: requieren fotoperíodos largos para florecer (>16 h), ideales para producción en altas latitudes, p.e. países nórdicos. En general, el frío mejora el crecimiento vegetativo de la fresa, aumenta la diferenciación floral y estimula el desarrollo de inflorescencias previamente diferenciadas de la fresa. Para lograr la exposición al frío deseada, la propagación de plantas de fresa se realiza en regiones con veranos frescos (altas latitudes o altitudes), donde se obtienen plantas más vigorosas, lo que se traduce en mayor precocidad y producción de fruta.

### 1. Taxonomía, diversidad y distribución geográfica del género *Fragaria*, y orígenes de la fresa cultivada

Las fresas y especies relacionadas pertenecen a la familia Rosaceae, subfamilia Rosoideae, tribu Potentilleae, subtribu Fragariinae, género *Fragaria* L. (U.S. National Plant Germplasm System, 2006). Dentro de la tribu Potentilleae, existen otros géneros emparentados con *Fragaria*: *Duchesnea* y *Potentilla* (Hancock, 1999). La fresa cultivada es *Fragaria x ananassa* Duch.

La distribución de los niveles de ploidía de las especies en ciertos continentes se ha utilizado para inferir la historia y la evolución del género *Fragaria* a través de los tiempos. (Hummer *et al.*, 2011). La última revisión sobre la taxonomía del género *Fragaria* (Liston *et al.*, 2014) incluye 27 especies (Tabla 1). La gran mayoría de ellas se encuentran en el hemisferio norte, específicamente en las zonas templadas de la región holártica de América, Asia y Europa. Este germoplasma tiene un incalculable potencial de utilización en programas de mejoramiento genético de fresa. Por ejemplo, en un estudio de preferencia del escarabajo de la hoja de fresa (*Galerucella tenella* L.) en más de 80 accesiones silvestres de *F. vesca* (fresa del bosque), el insecto no oviposó en todas las accesiones, sugiriendo que la fresa silvestre del bosque posee recursos que podrían ser explotados para reducir la dependencia de pesticidas en la fresa cultivada (Weber *et al.*, 2020).

Los orígenes de la fresa cultivada (*F. x ananassa*) fueron descritos por G. Darrow en su libro "The Strawberry" (1966), considerado como el texto de máximo valor sobre esta especie. El texto relata como Duchesne obtuvo la especie *F. x ananassa*, que revolucionó la producción comercial de fresa en el mundo. Duchesne realizó diversos cruzamientos entre varias especies del género *Fragaria* de la colección del jardín botánico del palacio de Versalles, buscando obtener una especie de fresa hermafrodita, productiva y con calidad de fruta superior a las conocidas. El más exitoso fue entre *F. virginiana* (flores hermafroditas, plantas traídas de EEUU, progenitor masculino) y *F. chiloensis* (flores femeninas, plantas traídas de Chile, progenitor femenino), que se produjo espontáneamente al intercalar líneas de plantas de ambos parentales. De estos cruzamientos, resultaron semillas que dieron origen, en 1765, a un híbrido hermafrodita, al que denominó *F. x ananassa*, debido a la similitud del nuevo fruto con el ananá o piña, en fragancia y sabor, y de mayor tamaño que las fresas conocidas hasta ese entonces.

La mejora de las características hortícolas de *F. x ananassa* durante 300 años permitió la expansión global de la producción de fresa y, contrariamente al principio de que la diversidad genética es limitada en la fresa cultivada, se ha comprobado que *F. x ananassa* alberga tanta diversidad alélica como cualquiera de sus parentales silvestres (Hardigan *et al.*, 2021).

**Tabla 1.** Especies de *Fragaria* clasificadas por taxón, nivel de ploidía y distribución geográfica (Adaptado de Liston *et al.*, 2014)

Taxón	Ploidía	Sistema de apareamiento	Distribución
<b>Clado Vesca</b>			
<i>F. xananassa</i> Duch. subsp. <i>Ananassa</i>	8x	Subdioica (cultivares modernos: hermafrodita)	Cultivada
<i>F. xananassa</i> Duch. subsp. <i>cuneifolia</i> (Nutt. ex Howell) Staudt	8x	Subdioica (cultivares modernos: hermafrodita)	NO N. América
<i>F. bucharica</i> Losinsk.	2x	Hermafrodita AI	O Himalayas
<i>F. cascadiensis</i> Hummer	10x	Subdioica (cultivares modernos: hermafrodita)	Oregón, EEUU
<i>F. chilensis</i> (L.) Duch.	8x	Subdioica (cultivares modernos: hermafrodita)	Alaska-California; Hawái; Chile, Argentina
<i>F. iturupensis</i> Staudt	8x, 10x	Subdioica	Isla Iturup
<i>F. mandshurica</i> Staudt	2x	Hermafrodita AI	NE Asia
<i>F. moschata</i> Duch.	6x	Dioica	O Eurasia
<i>F. orientalis</i> Losinsk.	4x	Dioica	NE Asia
<i>F. vesca</i> L. ubsp. <i>americana</i> (Porter) Staudt	2x	Hermafrodita AC	NE N. América
<i>F. vesca</i> L. subsp. <i>bracteata</i> (A. Heller) Staudt	2x	Ginodioica o Hermafrodita AC	O N. América
<i>F. vesca</i> L. subsp. <i>californica</i> (Cham. & Schldl.) Staudt	2x	Ginodioica o Hermafrodita AC	SO N. América
<i>F. vesca</i> L. subsp. <i>vesca</i> L.	2x	Hermafrodita AC	O Eurasia
<i>F. virginiana</i> Duch.	8x	Subdioica	N. América
<b>Clado China</b>			
<i>F. chinensis</i> Losinsk.	2x	Hermafrodita AI	China
<i>F. corymbosa</i> Losinsk.	4x	Dioica	China
<i>F. daltoniana</i> J. Gay	2x	Hermafrodita AC	Nepal, China adyacente
<i>F. gracilis</i> Losinsk.	4x	Dioica	China
<i>F. moupinensis</i> (Franch.) Cardot	4x	Dioica	China
<i>F. nipponica</i> Makino	2x	Hermafrodita AI	Japón
<i>F. nubicola</i> Lindl.	2x	Hermafrodita AI	Himalayas
<i>F. pentaphylla</i> Losinsk.	2x	Hermafrodita AI	China
<i>F. tibetica</i> Staudt & Dickore	4x	Dioica	China
<b>Posición filogenética no resuelta</b>			
<i>F. hayatai</i> Makino	2x	Hermafrodita AC?	Taiwán
<i>F. iinumae</i> Makino	2x	Hermafrodita AC	Japón
<i>F. nilgerrensis</i> Schldl. ex J. Gay	2x	Hermafrodita AC	SE Asia
<i>F. viridis</i> Duch.	2x	Hermafrodita AI	O Eurasia

Notas: AI = auto-incompatible; AC = auto-compatible. Las subespecies de *F. chilensis*, *F. virginiana* (Staudt, 1999a) y *F. nipponica* (Staudt y Olbricht, 2008) no están incluidas

## 2. Anatomía y morfología

La planta de fresa es del tipo perenne, aunque a veces se describe como herbácea. Es una verdadera planta leñosa, evidenciado por la producción de xilema secundario en tallo y raíz (Darrow, 1966; Esau, 1977). La planta consiste en un tallo central denominado corona, de la cual se forman las hojas, raíces, estolones e inflorescencias. En la parte superior de cada hoja hay una yema axilar que puede producir coronas laterales (como si fueran ramas), estolones o permanecer latente, según las condiciones ambientales. De las yemas axilares de las hojas se formarán coronas laterales cuando los días son cortos y las temperaturas bajas, y estolones cuando los días son largos y las temperaturas altas. En la extremidad del estolón se forma una nueva planta, que a su vez genera nuevos estolones y así sucesivamente (Figura 1). Las coronas laterales son deseables ya que cada una que se forma agrega rendimiento a la corona central, produciendo sus propias inflorescencias y frutos (Poling, 2012). En plantas de más de un año, la multiplicidad de coronas puede ir en detrimento del tamaño del fruto.

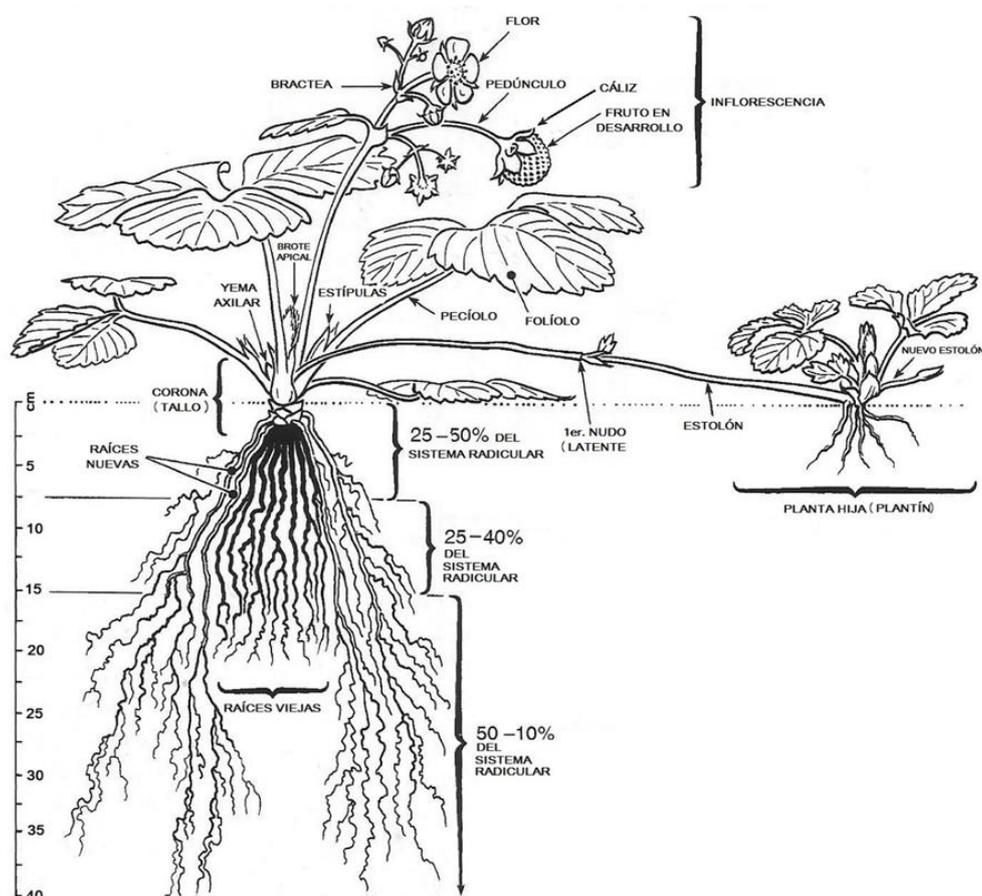


Figura 1. Diagrama de planta de fresa. Adaptado de Strand (1994)

El estolón es un tallo epigeo, delgado, que crece horizontalmente a lo largo del suelo, dando lugar a raíces y coronas en puntos especializados llamados nudos. Los estolones cuentan con dos nudos: intermedio y terminal (Figura 1). Una planta hija se forma a partir del nudo terminal, mientras que el nudo intermedio tiene una yema latente, que eventualmente puede dar origen a un nuevo estolón. Cada planta hija tiene la capacidad de producir sus propios estolones.

La planta madre puede transferir agua, nutrientes, asimilados y estímulos a la planta hija durante varias semanas (Kirschbaum, 1998). Normalmente, luego de 2-3 semanas y ya

enraizadas, las plantas hijas pueden crecer de manera independiente con respecto a la planta madre (Hancock, 1999). Una planta suele producir anualmente entre 8 y 40 estolones, dependiendo de la variedad, el ambiente y el tipo de desinfección de suelo (Larson y Shaw, 1995; Pirlak *et al.*, 2002).

Las hojas son generalmente pinnadas y trifoliadas (Figura 2a), con filotaxia espiralada 2-5. Tienen epidermis, palisada y mesófilo típicas de las dicotiledóneas, y estomas en el envés (Darrow, 1966; Heihari *et al.*, 2005) (Figura 2b). La longevidad de las hojas es de unos pocos meses, y puede estar influenciada por la variedad y por la fertilización nitrogenada (Kirschbaum *et al.*, 2015). Las hojas viejas son reemplazadas por nuevas, que están presentes como primordios foliares. En una yema vegetativa generalmente hay de 5 a 10 primordios foliares.



**Figura 2.** a) Hoja típica trifoliolada de fresa. Adaptado de <https://www.3dchf.com/2013/04/strawberry-leaf-3ds-max-texture.html>. b) Sección transversal de folíolo de fresa. Parénquima en empalizada (a), parénquima esponjoso (b), haz vascular (c), epidermis adaxial (capa celular superior) y abaxial (capa celular inferior). Estoma señalado con flecha en epidermis abaxial; ic espacio intercelular. Adaptado de Heihari *et al.* (2005)

El sistema radicular (Figura 1) en general, es fibroso y de desarrollo superficial, alcanzando en sentido lateral 30 cm aproximadamente, y 30 a 50 cm de profundidad, dependiendo de las condiciones del suelo, humedad y variedad. Cuando estas son favorables, nuevas raíces emergen de la corona en la base de cada nueva hoja. En el caso de estolones, las raíces emergen de la base de la corona desde el momento que el codo del estolón toma contacto con el suelo húmedo.

El sistema radicular está formado por raíces principales gruesas, siendo las jóvenes de color blanco. A medida que envejecen, su color cambia a marrón claro y finalmente a marrón muy oscuro o casi negro (Weaver *et al.*, 1927). Su número puede rondar las 20. De las raíces jóvenes nacen otras más finas y más pequeñas, denominadas raicillas, de color claro. Estas viven pocos días y son responsables de la absorción de agua y nutrientes. Las raíces principales cumplen las funciones de anclaje de la planta al suelo y de almacenamiento de nutrientes, pudiendo vivir de 2 a 3 años.

La inflorescencia de la fresa es una cima terminada en una flor primaria. Después de la flor primaria, hay típicamente dos flores secundarias, cuatro terciarias y ocho cuaternarias (Figura 1). Una flor típica de fresa es hermafrodita y posee los cuatro ciclos florales: cáliz, corola, androceo y gineceo (Figura 3a). El cáliz consta de 10 sépalos verdes; la corola es pentámera, dialipétala y los pétalos son blancos. El androceo consta de 20-30 estambres, cada uno

## 2. Especies y cultivo

constituido por filamento y antera. El gineceo está formado por un rango muy amplio de pistilos, cuyo número puede variar entre 60 y 600. El mayor número de pistilos se encuentra en las flores primarias, disminuyendo sucesivamente desde las primarias a las cuaternarias (Hancock, 1999). Respecto a la polinización, se estima que la realizada por insectos aporta el 28% del rendimiento en un cultivo de fresa, siendo las abejas los más abundantes (Bagnara y Vincent, 1988). La fresa tiene un ciclo de alrededor de 30 días desde la antesis hasta la cosecha (Symons *et al.*, 2012).

La fresa propiamente dicha es un fruto agregado (eterio), formado por un receptáculo muy desarrollado como consecuencia de la fecundación de los óvulos. El receptáculo, que es la parte comestible o fruto hortícola, sostiene a los verdaderos frutos que son los aquenios (Figura 3b). Un aquenio es un fruto seco e indehisciente, procedente de un ovario con una única semilla. El embrión de las semillas se compone de dos grandes cotiledones semielípticos, que contienen proteínas y lípidos (Darrow, 1966). El receptáculo está formado por una capa epidérmica, corteza y médula. Las dos últimas capas están separadas por haces vasculares que suministran nutrientes a los embriones en desarrollo (Hancock, 1999).



**Figura 3.** a) Flor de fresa. b) Esquema de un corte transversal de un fruto de fresa. Adaptado de Strand (1994)

Con fines descriptivos, se consideran válidas ocho formas de fruto, dado que son las más abundantes en la naturaleza. Estas formas pueden ser: esferoide, globosa, globosa cónica, cónica, cónica alargada, con cuello, cuña larga y cuña corta (Figura 4).



**Figura 4.** Formas más comunes de los frutos de fresa. Cortesía de M.N. Dana Adaptado de Roudeillac y Veschambre (1987)

### 3. Aspectos ecofisiológicos relevantes

El análisis de la relación entre el ambiente de origen de las especies del género *Fragaria* que contribuyeron a la genética de la fresa cultivada, y sus requerimientos ecofisiológicos, permite entender las respuestas agronómicas a diferentes factores ambientales y establecer un esquema conceptual que integra aspectos fisiológicos, genéticos, agroclimáticos y tecnológicos (Tabla 2).

**Tabla 2.** Relación entre el ambiente de origen de las especies parentales y su contribución a la plasticidad del híbrido *F. x ananassa* (Larson, 1994)

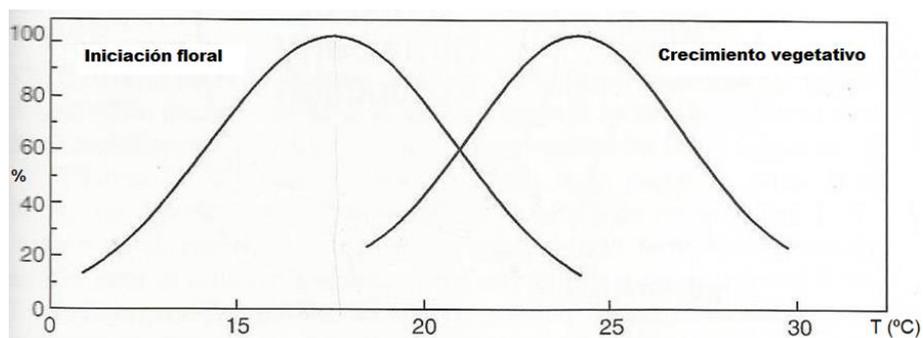
<i>F. chiloensis</i>	<i>F. virginiana</i>
Nativa de las costas arenosas del Pacífico de Chile, Hawaii y América del Norte.	Nativa del este y centro de América del Norte. Continental.
Originaria de ambientes de alta radiación lumínica.	Especie del sotobosque, es decir, de ambientes sombreados.
Hojas más gruesas, más mesófilo y tasas de asimilación neta de CO <sub>2</sub> (A) más altas.	Hojas delgadas, menos mesófilo y menores A.
Más tolerante a la sequía y a la salinidad.	Más tolerante al calor y al frío.

Tal como se describió anteriormente, la hibridación entre *F. chiloensis* y *F. virginiana* en el siglo XVIII disparó la expansión del cultivo comercial de fresa hacia todos los continentes. Desde entonces, ha tenido lugar un extenso proceso de cruzamiento genético en diferentes ambientes del planeta, que incluye las especies parentales y sus descendientes, dando como resultado que *F. x ananassa* sea una especie altamente variable y altamente heterocigota. Ante esta particularidad genética de la fresa cultivada, la fisiología de la planta adquiere un papel fundamental como herramienta para maximizar el beneficio económico de las respuestas de la planta al ser expuesta a una gran variedad de ambientes o condiciones agronómicas. De esta manera, la ecofisiología del cultivo se transforma en una potente herramienta productiva.

El desarrollo vegetativo y reproductivo de la fresa está regulado por un conjunto complejo de señales ambientales y fisiológicas. La aparición y el crecimiento de hojas, coronas, raíces, estolones e inflorescencias están marcadamente influenciados por el genotipo, y por varios factores ambientales, principalmente la intensidad lumínica, la calidad de la luz, el fotoperiodo, la temperatura (Figura 5), la concentración de CO<sub>2</sub> y la disponibilidad de agua, que modulan las tasas de fotosíntesis y de intercambio gaseoso, las relaciones hídricas, los procesos fotomorfogénicos y el metabolismo secundario. Esto se traduce en una serie de respuestas en término de crecimiento, partición de asimilados, fenología, rendimiento agronómico y la composición química del fruto (Hancock, 1999).

El desarrollo de la fresa tiene un patrón cíclico. En las regiones con inviernos fríos, las flores se forman normalmente a finales del verano y otoño, la planta entra en reposo invernal y los brotes rompen la primavera siguiente, cuando las temperaturas son lo suficientemente cálidas para su desarrollo. La tasa de desarrollo posterior está relacionada con la temperatura. La mayor parte de la ramificación de la corona se produce durante el otoño, cuando las temperaturas son frescas y los días son cortos. Continúa después de que la producción de estolones se ha detenido debido al acortamiento del fotoperiodo (10 h), hasta que comienzan las heladas fuertes.

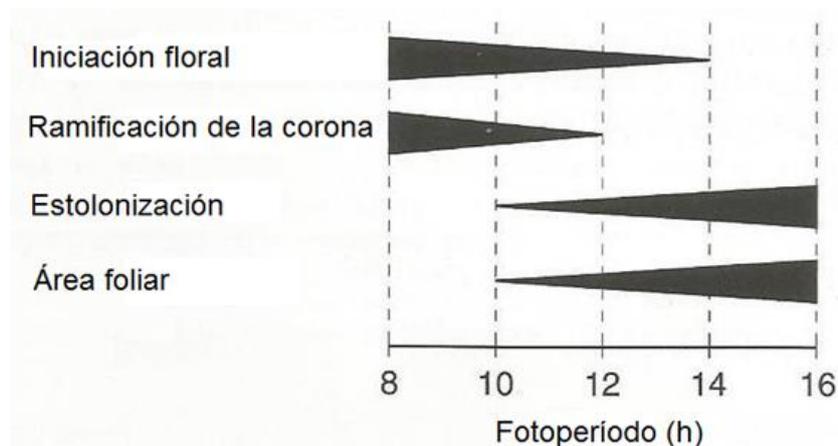
## 2. Especies y cultivo



**Figura 5.** Modulación térmica del crecimiento vegetativo y reproductivo de la planta de fresa. Adaptado de Hancock (1999).

Hay tres tipos de plantas de fresa: de “día corto (DC)”, de “día largo (DL)” y de “día neutro (DN)”, dependiendo de la respuesta de la planta al fotoperiodo para la inducción floral. En base a este comportamiento, las variedades de fresa pueden pertenecer a un tipo o al otro. Desde el punto de vista agronómico y comercial, las principales son las DC y DN. Las DC en realidad son facultativas (Darrow, 1936), ya que se inducen a florecer con fotoperíodos <14 h, o temperaturas <15°C.

La percepción del fotoperíodo en la planta de fresa tiene lugar en las hojas (Darnell *et al.*, 2003). En general, como se dijo, los genotipos de DC se inducen a florecer cuando el fotoperiodo es <14 h (Figura 6), y según la variedad, el requerimiento fotoperiódico inductivo puede variar entre 7 y 24 días, dependiendo de la temperatura. En condiciones controladas, los ciclos inductivos son de aproximadamente 15 días (Bish *et al.*, 1997). Por su parte, los genotipos de DN son indiferentes a la duración de las horas de luz para la floración, siendo las temperaturas las que inciden en el balance reproductivo/vegetativo de estas variedades, floreciendo sin problemas en un rango de 4 a 29°C (Pritts y Dale, 1989; Hancock y Handley, 1998).



**Figura 6.** Regulación fotoperiódica del desarrollo de la planta de fresa de día corto. Adaptado de Hancock (1999).

Con respecto a la calidad e intensidad de la luz en la floración, la luz roja de baja intensidad induce a las plantas de DC a florecer en fotoperíodos cortos y a 15°C, y la producción de flores y frutos en el invierno podría mejorarse aumentando la intensidad de la luz a niveles entre 400 y 450 mmol m<sup>-2</sup>, con fuentes de luz ricas en el espectro del rojo y eficientes en la gama de PAR (Kirschbaum, 1998).

La transición desde crecimiento vegetativo a reproductivo en fresa involucra una serie de etapas consecutivas, incluyendo inducción, iniciación, diferenciación y desarrollo floral. La inducción floral, en general, en fresa está controlada primariamente por el cultivar o variedad, el fotoperíodo (duración del día) y la temperatura. La iniciación involucra cambios morfofisiológicos en el meristema después de recibir la señal desde las hojas. La diferenciación es la formación de flores microscópicas. El desarrollo es el crecimiento de inflorescencias macroscópicas.

El frío (especialmente el tiempo de exposición a temperaturas entre 0 y 7°C) promueve respuestas tanto reproductivas como vegetativas, siendo un factor importante para equilibrar ambas fases (Darnell y Hancock, 1996). El requerimiento de frío depende de la variedad, probablemente debido a la proporción de linaje de *F. virginiana* y *F. chiloensis* que tenga la variedad, ya que ambas especies presentan una sensibilidad contrastante al frío, pues la primera requiere un enfriamiento más prolongado que la última (Kirschbaum, 1998). En general, el frío mejora el crecimiento vegetativo, reduce la inducción floral, no afecta la iniciación floral, pero aumenta la diferenciación floral y estimula el desarrollo de inflorescencias previamente diferenciadas (Darnell *et al.*, 2003).

Para lograr la exposición al frío deseada se busca, para la propagación de plantas de fresa, zonas con veranos frescos, lo cual se logra en regiones con altas latitudes o altitudes, de acuerdo con el principio de que, a mayor latitud o altitud, menor temperatura. Por este motivo, los viveros comerciales de fresa tienden a localizarse en regiones con esas características, donde se obtienen plantas más vigorosas, lo que se traduce en mayor precocidad y producción de fruta (Kirschbaum *et al.*, 1998, 2007; Ruan *et al.*, 2009).

La formación de brotes florales se ve restringida si las temperaturas se tornan demasiado cálidas. El estrés por altas temperaturas afecta negativamente el proceso reproductivo en fresa, como lo demuestra un estudio realizado con plantas cultivadas en dos regímenes térmicos: cálido (30/25 °C; día/noche) y templado (23/18 °C; día/noche), donde el primero redujo el número de inflorescencias, flores y frutos, con respecto al segundo (Ledesma *et al.*, 2008).

La temperatura óptima de la fotosíntesis de las fresas es de 20°C (Kimura, 2008), aunque muchos cultivares exhiben una tasa fotosintética relativamente alta entre 15 y 27°C (Kimura, 2008; Morgan, 2006). Por otro lado, la temperatura óptima de la corona es de 18°C (Universidad de Arizona, 2015).

Las raíces se desarrollan mejor con temperaturas frescas. Altas temperaturas (30°C) en la zona radicular disminuyen el consumo de oxígeno y la viabilidad de las raíces (Masaru *et al.*, 2016). Por el contrario, las raíces expuestas a baja temperatura (10°C) producen mayor biomasa, incluso que las sometidas a regímenes térmicos intermedios (20°C). Las bajas temperaturas en la zona radicular incrementan la biomasa de órganos reproductores, como inflorescencias y frutos, es decir, activarían el crecimiento reproductivo.

Las bajas temperaturas ambientales pueden dañar completamente las flores o los frutos en desarrollo, originando frutos deformes (Dara, 2013). La polinización también se ve afectada si la temperatura desciende por debajo de 15°C en floración. Como consecuencia, algunos aquenios no forman semillas, abortan, causando un crecimiento distorsivo del fruto (Dara, 2013). Las temperaturas más bajas tienen efectos negativos en el crecimiento de la planta y en las flores

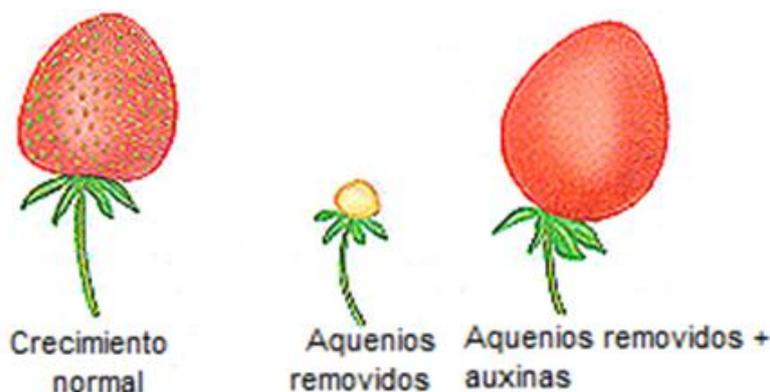
(Tabla 3). Es importante destacar que para que una determinada temperatura tenga un impacto en la planta y sus órganos, no solo interesa su orden de magnitud sino su duración.

**Tabla 3.** Efecto de las bajas temperaturas en el crecimiento vegetativo y reproductivo de la planta de fresa. Adaptado de Brandán (2009).

Temperatura (°C)	Consecuencias en la planta
2-5	Detención del crecimiento
0	Muerte de yemas florales
-1	Afecta la floración
-3	Daño total en flores
-12	Daños en la corona, muerte de plantas

Al igual que otros frutos, la fresa requiere de un aporte continuo de energía para poder llevar adelante los procesos metabólicos, la cual es obtenida mediante el proceso de respiración Vicente (2004). La diferencia de los frutos cosechados, con respecto a los que están unidos a la planta, está en que en el momento de la recolección los frutos son privados de la fuente de agua y compuestos orgánicos. De este modo, consumen durante la poscosecha sus reservas a fin de poder conservar la homeostasis. En el caso particular de fresa, la tasa respiratoria es elevada (50-100 ml CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> a 20°C) por lo que resulta fundamental controlar este proceso con tecnologías adecuadas para evitar el deterioro del fruto (Mitchell *et al.*, 2000).

La fresa es considerada un fruto no-climatérico debido a la ausencia de un pico respiratorio durante el proceso de maduración (Olías *et al.*, 1998). No obstante, el etileno muestra algunos efectos sobre la maduración de fresas acelerando el desarrollo de color, pero aun así no se lo considera una de las hormonas fundamentales para la regulación de este proceso. Los estudios iniciales mostraron que el crecimiento del receptáculo es regulado por los aquenios (Figura 7), que la aplicación de auxinas sintéticas permite restablecer el crecimiento en receptáculos en los que los aquenios han sido removidos y que lo mismos son una fuente de ácido indol-3-acético. En un estudio, Given *et al.* (1988) mostraron que la remoción de los aquenios de la mitad de un fruto verde acelera el proceso de maduración, mientras que la aplicación exógena de ANA previene el avance de la maduración. La hipótesis propuesta por los autores sostiene que la producción de auxinas en los aquenios inhibe la maduración en frutos verdes, y que a medida que el fruto se desarrolla disminuye el contenido de auxinas en los aquenios, modulando la maduración Vicente (2004).



**Figura 7.** El crecimiento del receptáculo es regulado por los aquenios. La aplicación de auxinas sintéticas permite restablecer el crecimiento en receptáculos en los que los aquenios han sido removidos, demostrando que los mismos son una fuente de ácido indol-3-acético. Adaptado de Croker (2014)

#### 4. Variedades

Como se describió en la sección antecedente, hay tres tipos principales de variedades de fresa, en función de su respuesta al fotoperíodo para la inducción floral: de “día corto (DC)”, de “día largo (DL)” y de “día neutro (DN)” (Tabla 4). Desde el punto de vista agronómico y comercial, las más difundidas son las DC y DN. Habría un cuarto tipo de variedades, de escasa importancia hasta ahora, denominadas "infra-día corto" (IDC), que florecen tempranamente en otoño y no tienen requerimientos de frío (Izhar, 1997).

**Tabla 4.** Clasificación de las variedades de fresa en función de su respuesta al fotoperíodo para la inducción floral

Días cortos	Días neutros	Días largos
Requieren fotoperíodos <14 h para florecer.	Indiferentes al fotoperíodo para florecer.	Requieren fotoperíodos largos para florecer (>16 h).
Ideales para producción en otoño, invierno y primavera en regiones con climas templados y cálidos.	Ideales para producción de verano en regiones con veranos frescos, e idem DC.	Ideales para producción en altas latitudes, p.e. países nórdicos.
Ejemplos: Florida Radiance (Fortuna), Petaluma, Rociera, Rubygem, Sabrina, Sonata, etc.	Ejemplos: Albion, Florida Beauty, Monterey, Rikas, San Andreas, Sweet Ann, etc.	Ejemplos: Everest, Flamenco, Ridder, Rita, Rondo, etc.

A su vez, cada variedad tiene un período productivo único, que le permite diferenciarse de las demás, y es lo que se tiene en cuenta para clasificarlas como extra-temprana, temprana, intermedia y tardía. La selección de la variedad a plantar se realiza considerando el clima de la zona, el momento del año en el que se desea cosechar, las preferencias del mercado, el sistema de cultivo (a campo o bajo cubierta) y las amenazas fitosanitarias con las que podría enfrentarse. En las regiones de inviernos rigurosos, donde sólo se puede producir fresa en verano (fotoperíodos largos), funcionan mejor las variedades de DN; mientras en las regiones con inviernos templados, donde se puede producir fresa desde otoño hasta fines de primavera (fotoperíodos cortos), pueden utilizarse indistintamente variedades de DC y de DN.

#### Bibliografía

- Bagnara, D.; Vincent, C. (1988). The role of insect pollination and plant genotype in strawberry fruit set and fertility. *J. Hortic. Sci.*, 63: 69-75.
- Bish, E. B.; Cantliffe, D. J.; Hochmuth, G. J. Chandler, C K. (1997). Development of containerized strawberry transplants for Florida's winter production system. *Acta Hortic.*, 439: 461-468.
- Brandán, E. Z. (Ed.) (2009). *Tratado de Horticultura*. Facultad de Agronomía y Zootecnia, Universidad Nacional de Tucumán. Argentina.
- Crocker, S. (2014). Plant hormones. <http://www.phytohormones.info/auxins.htm>. Acceso: 20 de marzo 2021.

## 2. Especies y cultivo

- Dara, S. (2015). Low temperature injury to strawberries. E-Journal of Entomology and Biologicals. University of California ANR. <https://ucanr.edu/blogs/blogcore/postdetail.cfm?postnum=9092#:~:text=Damage%3A%20Low%20temperatures%20could%20completely,small%2C%20and%20cause%20fruit%20distortion>. Acceso: 20 de marzo 2021.
- Darnell, R. L.; Cantliffe, D. J.; Kirschbaum, D. S., Chandler, C. K. (2002). The physiology of flowering in strawberry. En J. Janick (Ed.), Horticultural Reviews (pp. 325-349). New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Darnell, R. L.; Hancock, J. F. (1996). Balancing vegetative and reproductive growth in strawberry. En: M. V. Prittis; C. K. Chandler; T. E. Crocker (Eds.), Proceedings of the IV North American Strawberry Conference (pp 144-150). Gainesville, FL: Hort. Sci. Dept., Univ. of Florida.
- Darrow, G. M. (1936). Interrelation of temperature and photoperiodism in the production of fruit buds and runners in the strawberry. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci., 34: 360-363.
- Darrow, G.M. (1966). The strawberry: history, breeding and physiology. New York: Holt, Rinehart & Winston.
- Esau, K. (1977). Anatomy of Seed Plants. (2da Ed.). New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Given, N. K.; Venis, M.A.; Grierson, D. (1988). Hormonal regulation of the ripening in the strawberry, a non-climacteric fruit. Planta, 174: 402-406.
- Hancock, J.; Handley, D. (1998). The history and biology of the cultivated strawberry. Strawberry production guide for the Northeast, Midwest, and Eastern Canada Northeast Regional Agricultural Engineering Service (NRAES) Ithaca, NY.
- Hancock, J.F. (1999). Strawberries. Oxon, UK: CABI Pub.
- Hardigan, M. A.; Lorant, A.; Pincot, D. D. A.; Feldmann, M. J.; Famula, R. A.; Acharya, C. B.; Lee, S.; Verma, S.; Whitaker, V. M.; Bassil, N.; Zurn, J.; Cole, G. S.; Bird, K., Edger, P. P.; Knapp, S. J. (2021). Unraveling the Complex Hybrid Ancestry and Domestication History of Cultivated Strawberry. Molecular Biology and Evolution, <https://doi.org/10.1093/molbev/msab024>
- Heijari, J.; Kivimäenpää, M.; Hartikainen, H.; Julkunen-Tiitto, R.; Wulff, A. (2005). Responses of strawberry (*Fragaria × ananassa*) to supplemental UV-B radiation and selenium under field conditions. Plant and Soil, 282: 27-39.
- Hummer, K. E; Bassil, N. V.; Njuguna, W. (2011). *Fragaria*. En: C. Kole (ed.), Wild Crop Relatives: Genomics and Breeding Resources, Temperate Fruits (pp. 17-44). Berlin: Springer.
- Izhar, S. (1997). Infra short-day strawberry types. Acta Hort., 439: 155-160.
- Kimura, M. (2008). Vegetative growth and reproductive growth. En: Encyclopedia in Vegetable Crops Horticulture – Strawberry (pp. 73-96). (2da Ed.). Tokyo: Nobunkyo.
- Kirschbaum, D. S.; Borquez, A. M; Agüero, J. J.; Miserendino, E. E.; Salazar, S. M.; Mariotti-Martínez, J. A; Jeréz, E.F. (2007). Patrón productivo de plantas de frutilla o fresa

- (*Fragaria x ananassa* Duch.) propagadas en diferentes latitudes. Horticultura Argentina, 26(61): 65.
- Kirschbaum, D. S.; Cantliffe, D. J.; Darnell, R. L.; Bish, Ez. B.; Chandler, C. K. (1998). Propagation site latitude influences initial carbohydrate concentration and partitioning, growth, and fruiting of 'Sweet Charlie' strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) transplants grown in Florida. Proc. Florida State Hort. Society, 111: 93-96.
- Kirschbaum, D. S.; Larson, K. D.; Weinbaum, S. A; DeJong, T. M. (2015). Differential response of early and intermediate flowering strawberry cultivars to nursery late-season nitrogen applications and digging date. Afr. J. Plant Sci., 9: 250-263.
- Kirschbaum, D. S. (1998). Temperature and growth regulator effects on growth and development of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.). M.Sc. thesis. Univ. of Florida, Gainesville.
- Larson, K. D. (1994). Strawberry. En: B. Schaffer y P. C. Anderson (Eds.), Handbook of environmental physiology of fruit crops. vol. 1, Temperate Crops (pp. 271–297). Boca Raton, FL: CRC Press.
- Larson, K. D.; Shaw, D V. (1995). Nursery soil fumigation and runner plant production. HortScience, 30: 236-237.
- Ledesma, N. A.; Nakata, M.; Ugiyama, N. (2008). Effect of high temperature stress on the reproductive growth of strawberry cvs. 'Nyoho' and 'Toyonoka'. Sci. Hortic., 116(2): 186-193.
- Liston, A.; Cronn, R.; Ashman, T. L. (2014). *Fragaria*: A genus with deep historical roots and ripe for evolutionary and ecological insights. Am. J. Bot., 101: 1686-1699.
- Masaru, S.; Uenishi, M.; Miyamoto, K.; Suzuki, T. (2016). Effect of root-zone temperature on the growth and fruit quality of hydroponically grown strawberry plants. J. Agric. Sci., 8: 122.
- Mitchell, F. G.; Rumsey, T. R.; Kasmire, R. F.; Crisosto, C. H. (2000). Commercial cooling of fruits, vegetables and flowers. Publication 21567. University of California, Division of Agriculture and Natural Resources.
- Morgan, L. (2006). Hydroponic strawberry production. A technical guide to hydroponic production of strawberries. Tokomaru, NZ: Suntec NZ.
- Olías, J. M.; Sanz, C.; Pérez, A. G. (1998). Postcosecha de la fresa de Huelva. Principios básicos y tecnología. Instituto de la Grasa. CSIC. Sevilla. España.
- Pirlak, L.; Gilleryuz, M.; Bolat, I. (2002). The altitude affects the runner plant production and quality in strawberry cultivars. Indian J. Agric. Res., 37(4): 295-298.
- Poling, E. B. (2012). Strawberry plant structure and growth habit. Proceedings of the 2012 Empire State Producers Expo. Syracuse, NY. <http://www.hort.cornell.edu/expo/2012proceedings.php>. Acceso: 20 de marzo 2021.

## 2. Especies y cultivo

- Pritts, M.; Dale, A. (1989). Day neutral strawberry production guide. Information bulletin 215 Cornell Cooperative Extension Ithaca, NY. <https://ecommons.cornell.edu/handle/1813/3275>. Acceso: 20 de marzo 2021.
- Roudeillac, P.; Veschambre, D. (1987). La fraise. Techniques de production. Paris: Ed. Ctifl.
- Ruan, J.; Yoon, C.; Yeoung, Y.; Larson, K.D.; Ponce, L. (2009). Efficacy of highland production of strawberry transplants. *Afr. J. Biotechnol.*, 8: 1497-1501.
- Staudt, G.; Olbricht, K. (2008). Notes on Asiatic *Fragaria* species. V. *F. nipponica* and *F. iturupensis*. *Bot. Jahrb. Syst.*, 127: 317-341.
- Staudt, G. (1999). Systematics and geographic distribution of the American strawberry species: taxonomic studies in the genus *Fragaria* (Rosaceae: Potentilleae). University of California Publications in Botany.
- Strand, L. L. (1994). Integrated Pest Management for Strawberries. Publ. 3351. University of California, Division of Agriculture and Natural Resources. Berkeley, California.
- Symons, G. M.; Chua, Y. J.; Ross, J. J.; Quittenden, L. J.; Davies, N. W.; Reid, J. B. (2012). Hormonal changes during non-climacteric ripening in strawberry. *J. Exp. Bot.*, 63(13): 474 1–4750.
- U.S. National Plant Germplasm System. (2006). Genus: *Fragaria* L. <https://npgsweb.ars-grin.gov/gringlobal/taxonomygenus.aspx?id=4744>. Acceso: 20 de marzo 2021.
- Universidad de Arizona. (2015). Hydroponic strawberry environmental control. [https://cals.arizona.edu/strawberry/Hydroponic Strawberry Information Website/Env. Control.html#:~:text=Air%20temperature,2008%3B%20Morgan%2C%202006](https://cals.arizona.edu/strawberry/Hydroponic%20Strawberry%20Information%20Website/Env.%20Control.html#:~:text=Air%20temperature,2008%3B%20Morgan%2C%202006)). Acceso: 20 de marzo 2021.
- Vicente, A R. (2004). Efectos de tratamientos térmicos de alta temperatura sobre calidad y fisiología postcosecha de frutillas (*Fragaria x ananassa* Duch.). Tesis de doctorado. Facultad de Ciencias Exactas, UNLP. Buenos Aires.
- Weaver, J. E.; Bruner, W.E. (1927). Root development of vegetable crops. (1ra ed.). New York, London: Mc Graw-Hill Book Company, Inc.
- Weber, D.; Egan, P. A.; Muola, A.; Stenberg, J. A. (2020). Genetic variation in herbivore resistance within a strawberry crop wild relative (*Fragaria vesca* L.). *Arthropod-Plant Interact.*, 14: 31–40.