Universidad Pública de Navarra *Nafarroako Unibertsitate Publikoa*

ESCUELA TECNICA SUPERIOR DE INGENIEROS AGRÓNOMOS *NEKAZARITZAKO INGENIARIEN GOI MAILAKO ESKOLA TEKNIKOA*

EFECTO DE LAS HELADAS DE INVIERNO Y PRIMAVERA EN HABAS PARA CONGELADO MEDIANTE SIMULACIÓN REAL

presentado por

IRATXE AQUESOLO *k*

aurkeztua

MÁSTER UNIVERSITARIO AGROBIOLOGÍA AMBIENTAL
INGURUGIROAREN AGROBIOLOGIA UNIBERTSITATE MASTERRA

Septiembre, 2013 / *2013, Iraila*

Este trabajo de investigación ha obtenido financiación del Centro de Estudios e Investigación para la Gestión de Riesgos Agrarios y Medioambientales (CEIGRAM) en su convocatoria de Ayudas a Jóvenes Investigadores de 2013.

Resumen

AGROSEGURO, S.A., colabora con la Universidad Pública de Navarra en el desarrollo de proyectos relacionados con los daños derivados de incidencias climáticas en diferentes cultivos. En 2012, el cultivo de las habas en el Valle Medio del Ebro alcanzó las 1.800 ha. Las heladas pueden provocar pérdidas catastróficas cuando su intensidad es alta, por lo que en este estudio se analizaron los efectos producidos por las heladas de invierno y primavera mediante una simulación real en habas para congelado. Se estudió cómo afectan éstas a la calidad y a la producción total con el objetivo de elaborar bases para la realización de tablas de tasación que sirvan para determinar los daños ocasionados. Para ello, se cultivaron en 104 macetas habas al aire libre, protegidas por un tunelillo únicamente cuando las predicciones indicaban riesgo de helada. Un termostato activaba unos termoventiladores cuando la temperatura disminuía de los 2ºC para evitar las heladas. Se aplicaron tres tandas de heladas de invierno (-10ºC) y 4 de heladas de primavera (-2 y -4ºC) a lotes de 8 macetas cada vez, y a 16 no se les aplicó ningún tratamiento, de manera que actuaron como testigos. Se anotó la evaluación visual de los daños, y al final del ciclo de cultivo se calculó el rendimiento de cada uno de los lotes, de manera que pudo compararse con los testigos. Por último, se calcularon las pérdidas de producción que causan las heladas en el cultivo de habas.

Palabras clave: habas (*Vicia faba*), heladas, seguro agrario

Abstract

AGROSEGURO, S.A, works with the Public University of Navarra in the development of projects related to the damage caused by weather events in several crops. In 2012, faba bean cultivation reached 1.800 ha in the Middle Ebro Valley. Frosts may cause catastrophic losses when their intensity is high so that this study will examined the effects of winter and spring frosts through a real simulation in faba beans for freezing. Quality and total production were analyzed in order to elaborate a valuation table useful to determinate the caused damage. To this end, 104 pots of faba beans were grown outdoors, just protected under a minitunnel when predictions indicated risk of frost. A thermostat was activated when temperature reached 2ºC to prevent the frosts. In this way, two fan heaters heated the environment. Three winter (-10ºC) and four spring (-2 and -4ºC) frosts were applied to lots of 8 pots each time, while 16 pots did not suffer any treatment, so they acted as control. The damage was assessed visually and at the end of the crop cycle, the yield of each one of the lots was calculated in order to be compared to the controls. Finally, the production losses caused by frosts were calculated for faba beans.

Keywords: faba bean (*Vicia faba*), frosts, agricultural insurance

ÍNDICE

Resumen

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN 1

2. ANTECEDENTES 2

2.1. Superficies, producciones y rendimientos 2

2.2. Taxonomía y fases de cultivo 3

2.3. Tipos de heladas 5

2.3.1. Heladas en el Valle Medio del Ebro 6

2.4. Efectos de las heladas en habas 7

2.4.1. Daños producidos por heladas en habas 7

2.4.2. Resistencia a heladas 8

2.4.3. Experimentos previos con heladas en habas 9

2.5. Norma específica de peritación de daños en producciones de haba verde amparadas por el Seguro Agrario Combinado 12

3. OBJETIVOS 13

4. MATERIALES Y MÉTODOS 14

4.1. Localización 14

4.2. Características climáticas 14

4.3. Material vegetal 15

4.4. Siembra 15

4.5. Labores 16

4.6. Diseño experimental 18

4.7. Método de aplicación de las heladas 18

4.8. Tunelillo de defensa contra heladas 22

4.9. Seguimiento de cultivo 24

4.10. Recolección 25

4.11. Cálculo de la reducción de producción 26

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 27

5.1. Evaluación de los daños morfológicos causados por las heladas 27

5.1.1. Heladas de invierno 29

5.1.2. Heladas suaves de primavera (-2ºC) 31

5.1.3. Heladas fuertes de primavera (-4ºC) 34

5.2. Evaluación de los daños productivos causados por las heladas 35

5.2.1. Heladas de invierno 35

5.2.2. Heladas suaves de primavera (-2º) 37

5.2.3. Heladas fuertes de primavera (-4ºC) 38

5.2.4. Comparación daños producidos por heladas a -2 y a -4ºC 42

6. CONCLUSIONES 44

7. BIBLIOGRAFÍA 45

ANEXO A1. TEMPERATURAS REGISTRADAS EN EL TUNELILLO CON SISTEMA DE CALEFACCIÓN

ANEXO A2. TEMPERATURAS REGISTRADAS EN EL TUNELILLO SIN SISTEMA DE CALEFACCIÓN

ANEXO A3. TEMPERATURAS REGISTRADAS DURANTE LA APLICACIÓN DE LAS HELADAS

ANEXO A4. ESTADILLOS DE RECOLECCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

La Universidad Pública de Navarra colabora con la Agrupación Española de los Seguros Agrarios Combinados, AGROSEGURO, S.A., que gestiona el sistema de seguros agrarios e integra entidades aseguradoras nacionales y extranjeras, en el desarrollo de proyectos relacionados con los daños derivados de incidencias climáticas en diferentes cultivos hace más de 25 años.

El proyecto actual "Efecto de heladas de invierno y primavera en habas para congelado mediante simulación real" viene propiciado por el incremento de la superficie de cultivo de este tipo de habas en el Valle Medio del Ebro en los últimos años, habiéndose alcanzado una superficie de 1.800 ha en esta zona. No existen datos previos de la respuesta a heladas de habas en climas relativamente fríos como es el Valle Medio del Ebro y es por ello que se plantea la realización del ensayo del presente Proyecto.

El Sistema español de Seguros agrarios se basa en una serie de contratos cuya finalidad es dar cobertura a riesgos que afectan a las producciones. Aquellos riesgos relacionados con fenómenos atmosféricos de la naturaleza, como son el granizo, la helada, la sequía, la inundación, el viento y las lluvias persistentes (Fernández, 2006), pueden provocar pérdidas catastróficas cuando su intensidad es alta.

Las heladas pueden producir pérdidas de rendimiento durante la recolección de las plantas afectadas, puesto que las bajas temperaturas pueden provocar desequilibrios metabólicos e influir directamente sobre las funciones fisiológicas de las plantas (Pascual, 1999). Suponen, según datos del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino del año 2011, el segundo tipo de siniestro en importancia a nivel estatal, tal como se muestra en la Figura 1, siendo el pedrisco la primera gran incidencia medioambiental que produce las mayores mermas en las producciones agrícolas (AGROSEGURO, 2011).

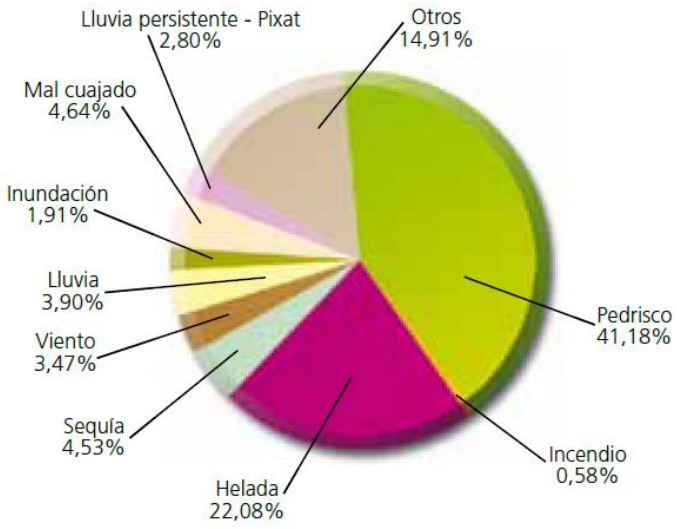


Figura 1. *Distribución por riesgos en 2011 (Fuente: AGROSEGURO, S.A.).*

2. ANTECEDENTES

2.1. Superficies, producciones y rendimientos

El haba es la séptima legumbre de grano en importancia en el mundo (FAOSTAT, 2013). Se trata de una leguminosa de doble utilización, tanto para la alimentación humana como animal, constituyendo en muchos países la mayor fuente de proteína en alimentación humana. Es ampliamente utilizada en las rotaciones dominadas por cereales gracias a su aportación de nitrógeno al suelo (Arbaoui y Link, 2008) y para abono verde (Inci y Toker, 2011). En Europa, con el 17% de la producción mundial (FAOSTAT, 2013) su principal utilización es en alimentación animal.

La superficie cultivada en España de proteaginosas (guisantes, habas, haboncillos y altramuces) en 2010 y 2011 fue de 220.000 y 269.600 ha, respectivamente (FAOSTAT, 2013). Por otro lado, en la tabla 1 aparece reflejada la serie histórica de superficie y producción de habas verdes en España (INE, 2011).

Tabla 1. *Serie histórica de superficie y producción de habas verdes en España.*

Años	Superficie (miles de ha)	Producción [(1)] (miles de t)
2000	9,0	78,0
2001	8,6	65,5
2002	7,7	66,2
2003	7,7	65,0
2004	7,9	63,4
2005	8,0	53,6
2006	9,4	69,4
2007	9,3	67,9
2008	8,4	66,0
2009	8,9	69,9
2010	8,6	80,2

[(1)] Con vaina.

En el Valle del Ebro, las habas constituyen una de las especies más demandadas por las industrias del congelado, junto con otras hortalizas destinadas a industrias de transformación como el tomate, pimiento, coliflor, guisantes, judías y bróculi (Gutiérrez y Macua, 2007). En la tabla 2 se muestran las superficies y producciones en Navarra y Aragón, así como en el conjunto de España, para los años 2010 – 2013. Otras provincias como Burgos, León, La Rioja, Álava y Tarragona conforman las demás áreas geográficas del Valle del Ebro, aunque por ser la producción de habas mucho menor no se mencionan en el proyecto.

Tabla 2. *Evolución de la superficie (ha) y producción de habas verdes en Navarra, Aragón y España desde 2010 a 2013. Los datos de 2013 son provisionales.*

	Superficie (ha)				Producción (t)			
	2010	**2011**	**2012**	**2013**	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**
Navarra	1.044	1.200	1.296	1.100	1.384	1.600	2.600	2.800
Aragón	192	250	250	270	960	1.500	800	800
España	8.600	8.400	7.300	6.614	80.200	72.900	53.800	50.700

2.2. Taxonomía y fases de cultivo

El haba (*Vicia faba*) es una especie dicotiledónea anual, perteneciente a la familia de las leguminosas (Papilonáceas). De germinación hipogea, el sistema radical consiste en una raíz pivotante con largas raíces secundarias que pueden alcanzar los 50-60 cm y nódulos que contienen las bacterias fijadoras de nitrógeno *Rhizobium leguminosarum* bv. v*iciae*. Las raíces también forman asociaciones endomicorrizales.

Los cultivares de invierno tienen usualmente una mayor ramificación (de 4 a 6 tallos/planta) que los de primavera (1-2 tallos/planta) (Duc, 1997). Los tallos son erectos, robustos, huecos y de sección cuadrangular. Pueden alcanzar hasta 2 m de altura, aunque normalmente fluctúa entre 0,8 y 1,2 m. Las ramas basales alcanzan un crecimiento que en muchos casos se asemeja al del tallo principal y aportan, en promedio, entre 50 y 70% del total de las vainas producidas por una planta. Asimismo, es habitual la producción de algunas ramas secundarias.

Las hojas son compuestas y alternas, presentan en su base un par de estípulas de escaso tamaño, generalmente dentadas y están compuestas por dos a seis foliolos ovales. Los foliolos, también alternos, son sésiles, de color verde grisáceo y miden entre 5 y 6 cm de largo. Durante la etapa de llenado de granos se inicia el proceso de senescencia de las hojas basales, que continúa gradualmente en forma ascendente.

La flor del haba es grande y está conformada por cinco pétalos que pueden ser totalmente blancos, o presentar manchas, las cuales pueden ser de color púrpura o negro. Entre el 5 y 50% de la polinización ocurre de forma cruzada. Las flores se presentan dispuestas en inflorescencias que corresponden a cortos racimos axilares. En una planta el número de flores por racimo varía entre dos y seis, aunque un gran número de flores aborta sin producir frutos. La floración se prolonga por un periodo de 60 a 75 días, produciéndose racimos florales ordenadamente desde los nudos basales hacia los nudos superiores (floración acropétala). Las inflorescencias de los primeros nudos reproductivos tienen menos flores, siendo lo normal, en siembras tempranas en que la floración ocurre con temperaturas aún muy bajas, que no prospere ninguna de ellas.

Las vainas son rectas y carnosas en sus estados iniciales, presentan un interior esponjoso y de color blanco. Las plantas pueden producir entre 2 y 25 vainas, dependiendo de la densidad de población, fecha de siembra y calidad del suelo. El número de semillas por vaina varía considerablemente según la posición que presenten las vainas en los tallos. Las de los nudos inferiores logran producir un mayor número de semillas que las de los nudos superiores.

La elongación de las vainas y el crecimiento de los granos se producen de forma simultánea. Los granos inmaduros van incrementando su tamaño hasta alcanzar su madurez óptima para consumo en verde con una humedad de 72 a 74% como promedio. En ese estado, los granos prácticamente han llenado la cavidad de la vaina. Los granos, a medida que pierden humedad, van tomando un color cada vez más opaco y menos verdoso (Faiguenbaum y Mouat, 2013.).

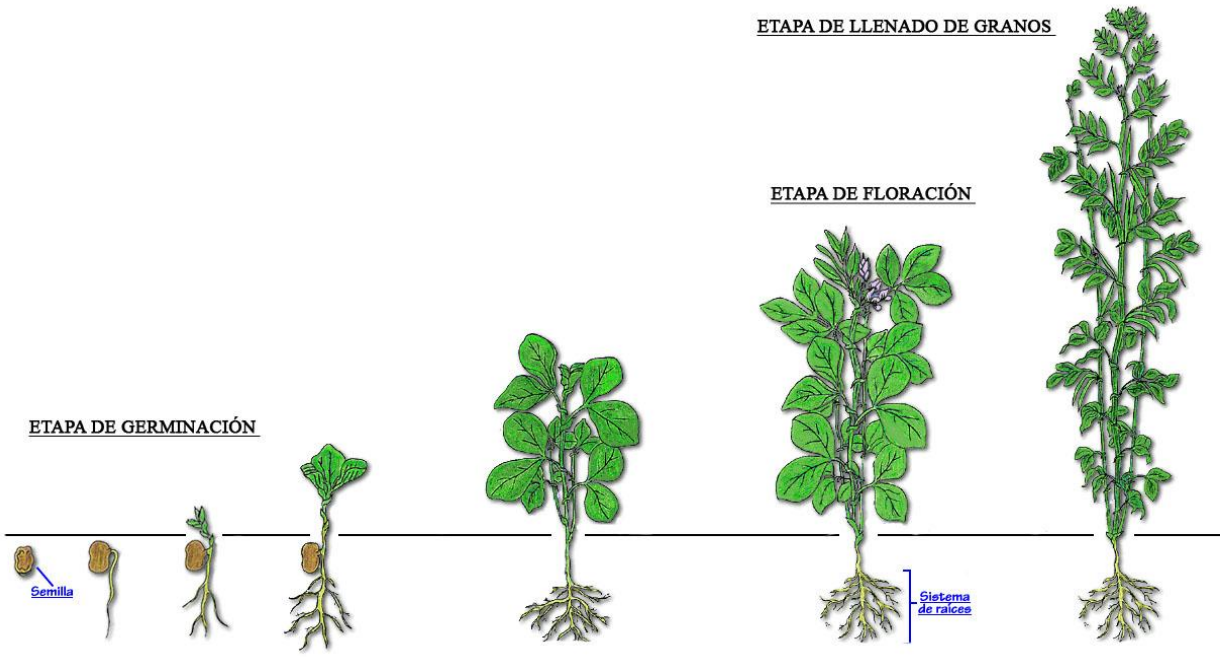


Figura 2. *Crecimiento y desarrollo de la planta del haba.*

2.3. Tipos de heladas

Los efectos producidos por las heladas pueden resultar perjudiciales dependiendo de tres factores: de su duración, de su intensidad y del momento del ciclo vegetativo en que se producen y del estado fenológico de las plantas en ese momento dado.

Se dice que ha acontecido una helada cuando las temperaturas descienden de los 0ºC (Snyder et al., 2010). Por su origen, las heladas se pueden clasificar en tres tipos: de advección, de radiación y de evaporación.

Heladas de advección

Se producen cuando una masa de aire frío o muy frío provoca un descenso generalizado de las temperaturas en un radio de acción de gran escala. Está asociada con condiciones de nubosidad, vientos de moderados a fuertes, sin inversión de temperatura y baja humedad. A menudo, las temperaturas descienden de 0ºC y permanecen así todo el día. Las heladas de este tipo suelen se esporádicas, mientras que las heladas de radiación ocurren más a menudo.

Heladas de radiación

Las heladas de radiación se caracterizan por un cielo despejado, en calma o con poco viento, inversión de temperatura, temperaturas del punto de rocío bajas y temperaturas del aire que normalmente caen por debajo de 0ºC durante la noche pero que están por encima de 0 ºC durante el día. Con cielos despejados durante la noche, la temperatura de la zona que está radiando cae más rápido, provocando una inversión de temperatura.

Se pueden distinguir, a su vez, dos subcategorías de heladas de radiación. Una “helada blanca” ocurre cuando el vapor de agua se deposita sobre la superficie y forma una capa blanca de hielo o escarcha, situación más probable cuando la humedad es alta. Durante el proceso de deposición del hielo se libera calor, por lo que las heladas blancas producen menos daños que las negras. Una “helada negra” ocurre cuando la temperatura cae por debajo de 0 ºC y no se forma hielo sobre la superficie.

Una característica de la temperatura del aire en las heladas de radiación nocturnas es que su mayor caída se produce en unas pocas horas después de la puesta del sol, cuando la radiación neta sobre la superficie cambia rápidamente de positiva a negativa (Snyder et al., 2010).

Heladas de evaporación

Se deben a que el agua depositada sobre las plantas, al evaporarse rápidamente, absorbe de ellas el calor de evaporación y las enfría con brusquedad, por lo que la temperatura de algunos órganos vegetales desciende hasta valores negativos (Hernández, 1994). Cuando este proceso se realiza sobre órganos delicados de la planta, como yemas, flores o pequeños frutos, puede originarse un enfriamiento suficiente para que tales órganos sean dañados.

Este tipo de heladas se produce cuando un frente frío o un descenso marcado de las temperaturas origina una condensación importante del vapor de agua atmosférico en forma de rocío provocando una reducción notable de la humedad relativa. Pasado este frío, al restablecerse las temperaturas normales, se producirá un gradiente de tensión de vapor muy fuerte entre las superficies vegetales cubiertas de agua y la atmósfera que se ha desecado. El calor necesario para vaporizar el agua líquida es sustraído de las superficies vegetales provocando su enfriamiento. Este tipo de heladas puede presentarse de dos formas: generadas por una situación de borrasca o en presencia de estabilidad atmosférica.

2.3.1. Heladas en el Valle Medio del Ebro

La mayoría de las heladas registradas en el centro del valle del Ebro están ocasionadas por una situación de estabilidad atmosférica, más intensa y perceptible en las capas bajas en contacto con la superficie, aunque puedan verse alimentadas por la entrada de aire frío –de componente norte- en altura (Hernández, 1994).

La radiación recibida por las latitudes templadas del hemisferio Norte es menor durante los meses de diciembre, enero y febrero. Además, éste es el periodo en el que son más frecuentes las advecciones frías. De esta manera, se registra un enfriamiento importante de la superficie terrestre, que se incrementa con la pérdida de calor por irradiación nocturna y se suaviza cuando hay una mayor nubosidad, puesto que la capa de nubes actúa como pantalla frenando la pérdida de calor.

A medida que la temperatura va ascendiendo y que como consecuencia de ello los vegetales recuperan su actividad vegetativa, la susceptibilidad a los posibles daños producidos por las heladas aumenta. Los umbrales de resistencia de las diversas especies a las temperaturas bajas de primavera disminuyen considerablemente. De esa forma, las heladas de primavera, también llamadas heladas tardías, son las responsables del mayor porcentaje de pérdidas que sufre la agricultura debido a las temperaturas. En los meses de marzo y abril, las situaciones estables son las que producen heladas. Las heladas asociadas a esta situaciones, además de ser las más frecuentes y las de mayor duración en conjunto, son también las que producen los valores de temperatura más bajos, tanto en las mínimas como en las máximas. Durante la primavera, las temperaturas más bajas se producen asociadas a situaciones advectivas, aunque el mayor porcentaje de heladas se deba a la radiación (Hernández, 1994).

2.4. Efectos de las heladas en habas

2.4.1. Daños producidos por heladas en habas

En general, cuando una planta se hiela, el agua se mueve de las células al espacio intercelular, y a -10ºC constituye más del 90% del agua osmóticamente activa (Thomashow, 1998). Esto está causado por el crecimiento de cristales hielo en el espacio intercelular de los tejidos, de manera que las células vegetales sufren deshidratación. Además, los cristales de hielo pueden afectar las membranas celulares, rasgándolas. Cuando un tejido se deshiela, el protoplasto libera su contenido celular y pierde aún más vigor (Link et al., 2010).

Las plantas tienen varias estrategias para sobrevivir a las temperaturas bajas. La capacidad de formar hielo dentro del tejido y por tanto evitar la consecuente deshidratación celular es uno de los más importantes (Thomashow, 2001). Una estrategia es el descenso del punto de congelación mediante la adaptación osmótica de las células (Link et al., 2010) y la acumulación de un tipo de sustancias osmóticamente activas y crioprotectivas. Esto puede observarse durante el proceso de pre-endurecimiento.

Otra estrategia para evitar la acumulación de hielo es el superenfriamiento, que es la capacidad de los tejidos relacionada con la nucleación de hielo para enfriarse por debajo del punto de congelación sin formación real de hielo (Sakai y Larcher, 1987), pero eso no se ha observado todavía en habas.

La tolerancia a heladas incluye procesos que permiten la formación de hielo en los tejidos vegetales, principalmente en los espacios intercelulares o compartimentos especiales, y su consecuente deshidratación celular sin consecuencias letales (Nilsen y Orcutt, 1996). En los genotipos tolerantes a heladas, la formación de hielo intercelular parece ser controlada y modificada por proteínas anticongelantes. La formación de hielo intracelular, sin embargo, es generalmente letal. La función de las proteínas anticongelantes es inhibir la recristalización (crecimiento) intercelular del hielo más que prevenir la formación de hielo, pueden además estabilizar membranas, previniendo el daño causado por el hielo. Por ahora, no se han encontrado este tipo de proteínas en leguminosas grano.

Las heladas pueden afectar principalmente a flores y vainas pero en general la planta de haba se recupera una vez que han desaparecido (Maroto, 2002). El primer síntoma causado por las temperaturas bajo cero, visible mientras dura la helada, es un ennegrecimiento seco de los ápices y los bordes de las hojas. Tras el deshielo, las hojas y tallos pueden tornarse amarillos inicialmente, pasando a gris y finalmente negros. Pierden turgencia, se marchitan, y especialmente los tallos, desarrollan una apariencia acuosa, semi-traslúcida, arrugada, para finalmente volverse también negros. Incluso plantas sin síntomas inmediatos pueden desarrollar síntomas de daños de heladas después de varios días de recuperación. Inicialmente invisibles, porque están bajo la superficie del suelo, las raíces y epicotilos pueden pudrirse y tornarse negros, aunque al principio las plantas presenten un marchitamiento escaso.

La zona negra se extiende hacia arriba a lo largo del tallo hasta que toda la planta se muere (Link et al., 2010).

Se ha observado que los tallos tienen mayor tolerancia a heladas que las hojas, debido al mayor incremento de ácidos grasos poliinsaturados (ver apartado 2.4.3). En el caso de plantas endurecidas, varios autores han corroborado la mayor tolerancia a heladas de las hojas jóvenes de plantas endurecidas frente a las más viejas (Arbaoui y Link, 2008; Herzog, 1989b). En cuanto a la resistencia a heladas de las flores, se sabe que las blancas, cuyo contenido en taninos es cero, son las más susceptibles al frío. Las flores tolerantes de habas y sus parientes silvestres muestran una pigmentación alta durante el período vegetativo cuando las plantas se someten a heladas. La pigmentación y el hábito de crecimiento en forma de roseta en el estadío de plántula puede ser uno de los mecanismos morfológicos de defensa para la tolerancia al frío (Inci y Toker, 2011). Las vainas también presentan diferente sensibilidad, siendo las más jóvenes las más sensibles a las bajas temperaturas. Se ha observado que las vainas jóvenes que emergen de la corola y aquellas que contienen semillas en fase de engrosamiento se hielan, y las semillas jóvenes se necrosan, incluso cuando la vaina sobrevive al frío. Esto indica que durante la antesis, las flores son más resistentes a las heladas que las vainas jóvenes (Liu et al., 1987).

2.4.2. Resistencia a heladas

En regiones de clima templado-frío, el haba se cultiva en primavera, puesto que la escasa resistencia invernal de los cultivares actuales, sembrados en otoño, es el principal factor limitante (Arbaoui et al., 2008a). Estudios recientes han mostrado la superioridad del rendimiento del grano y proteína de las variedades cultivadas en invierno al de las cultivadas en primavera. Esto se debe a que el haba, en invierno, puede hacer un mejor uso del agua disponible del suelo, escapar parcialmente a la sequía y algunas plagas, y ser cosechada tempranamente. La siembra invernal sólo puede realizarse utilizando cultivares tolerantes al frío.

El estrés relacionado con el frío puede ser definido en términos de refrigeración, con temperaturas de 0 a 12 ºC, o de congelación, con temperaturas por debajo de 0 ºC. La resistencia al frío es la habilidad de las plantas para sobrevivir durante el invierno e incluye estreses bióticos como el moho de nieve (hongos que dañan o matan las plantas después del deshielo) y estreses abióticos como temperaturas de congelación y condiciones edáficas adversas (Inci y Toker, 2011).

Se sabe que las plantas jóvenes de habas muestran una capacidad considerable de rebrote y recuperación de heridas mecánicas (Link et al., 2010). La tolerancia a heladas es un carácter de gran variabilidad y un componente del endurecimiento invernal. El ecotipo francés “Côte d’Or” puede soportar temperaturas de -22ºC si se endurece previamente, y otros cultivares también de invierno como “Hiverna” son tolerantes a temperaturas por debajo de -15ºC (Herzog, 1987, 1989a; Picard et al., 1985). También existen otras variedades de habas

tolerantes a heladas procedentes de Inglaterra, Alemania y China, cuya tolerancia se hereda (Duc y Petitjean, 1995). En estos momentos, en Francia se está llevando a cabo la mejora de habas utilizando condiciones artificiales y naturales, con el fin de aumentar la zona de cultivo invernal del haba.

En el sureste de China, la floración de las habas en febrero tiene que soportar regularmente 3-4 semanas de heladas, parte de las cuales son por debajo de los -8ºC. En ensayos realizados bajo dichas condiciones, se ha reportado que las flores fueron tolerantes a heladas suaves, mientras las vainas jóvenes no lo fueron (Liu et al., 1987). Sin embargo, en Australia, una temperatura de -0,1ºC fue suficiente para matar óvulos de flores no fertilizadas de la variedad Fiord, lo que provocó el crecimiento al azar de los tubos de polen dentro de los ovarios (Link et al., 2010).

Adicionalmente, también se ha estudiado la influencia de la nieve sobre el haba. Fukuta y Yukawa (1998) evaluaron la tolerancia de 41 cultivares a una exposición de una capa de nieve durante 36 y 61 días, sin helada severa. Identificaron dos genotipos muy tolerantes a la cobertura de nieve. Estas variedades tolerantes eran bajas, con un hábito de crecimiento postrado, entrenudos y peciolos cortos, hojas pequeñas que tocaban el suelo y un contenido alto de carbohidratos no estructurales en los tejidos vegetales. Este genotipo, también presentaba un menor riesgo a heridas producidas por granizo y vientos fuertes antes de la cobertura de nieve.

En España existen diferentes cultivares. Muchamiel es una variedad poco resistente al frío, hasta el extremo de que temperaturas de -2ºC destruyen las flores y las pequeñas vainas, aunque la planta puede recuperarse una vez que haya pasado el periodo de heladas. En contraposición, la variedad Granadina es poco productiva pero muy resistente al frío (Maroto, 1990). Las variedades Semiancha y Castel son tolerantes al frío y su siembra se recomendó en Navarra en 2012 (INTIA, 2012). La primera es una variedad de tamaño de grano grande, de ciclo intermedio, mientras que la segunda es muy productiva, precoz en floración y maduración y con un tamaño de grano intermedio.

2.4.3. Experimentos previos con heladas en habas

Los efectos que causan las heladas en habas se han observado mediante ensayos de campo y mediante tests de heladas controladas. Numerosos investigadores han utilizado plantas en macetas cultivadas en cámaras de crecimiento (Gehriger y Vullioud, 1982), mientras otros han utilizado hojas cortadas. Un método tradicional para evaluar la tolerancia al frío es el cultivo de habas de invierno en cajas de madera en el exterior expuestas al clima invernal, permitiendo que la capa protectora de nieve permanezca o no, e introduciendo las cajas al interior si fuera necesario acortar el periodo de exposición al frío. Este procedimiento ha permitido la corroboración de diferencias en resistencia al frío de diferentes variedades (Link et al., 2010).

Para la evaluación de los daños se han empleado varios métodos, consistentes en la valoración visual de las heridas por congelamiento en hojas mediante una puntuación, la medición del crecimiento del rebrote, la conductividad foliar y la evaluación de la fluorescencia de la clorofila. Estos métodos no destructivos se han aplicado en hojas por ser éstas las que están directamente expuestas a las condiciones de bajas temperaturas.

Herzog (1987) desarrolló un procedimiento para la evaluación de daños producidos por heladas utilizando hojas de plantas endurecidas. Las hojas se congelaron artificialmente y el daño se evaluó mediante una puntuación visual y por conductividad foliar. La congelación daña las membranas celulares, haciendo que se rompan y el contenido celular escape. Al poner tejido vegetal en agua, puede evaluarse el daño que ha sufrido midiendo el fluido por medio de tests de conductividad eléctrica del agua de mezcla. Se estimó una ecuación de regresión para estimar la temperatura T50 que inducía un daño medio (puntuación 4 en una escala de 0 a 8). Esta ecuación se basó en el descubrimiento de que el incremento de 1ºC en la temperatura de congelación causaba alrededor de 2,5 unidades de incremento en el daño producido por helada en esta escala. Las hojas no endurecidas se dañaban o escasamente o totalmente, mostrando una respuesta binomial, o lo que es lo mismo, sin daños intermedios, mientras que las hojas endurecidas exhibieron todos los niveles de daño intermedio posibles, es decir, una respuesta cuantitativa. Además, para evitar errores, es necesario realizar la evaluación visual de los daños producidos al menos 6 horas después del deshielo, puesto que el daño visual se incrementa considerablemente durante las primeras horas y alcanza su grado final de acuerdo a una función exponencial. Por ello, se recomienda evaluar los daños un día después del deshielo.

Teniendo en cuenta que la fotosíntesis se ve afectada en ensayos de congelación en general y específicamente por el daño en la membrana (Ensminger et al., 2006), el método de la fluorescencia de la clorofila ha sido aplicado ampliamente para evaluar la resistencia a heladas de las habas, cebada, avena y colza oleaginosa (Herzog y Olszewski, 1998). Aunque este método carece de apreciaciones subjetivas, para las habas se obtuvieron los mismos resultados que con la evaluación visual comentada anteriormente, sin embargo, tanto el coste económico como laboral de la medición fue superior.

Por otro lado, uno de los aspectos más estudiados en relación con la resistencia a heladas en habas ha sido el endurecimiento, también conocido como la aclimatación al frío. El endurecimiento es un proceso activado por la exposición a bajas temperaturas, siempre por encima de los 0ºC. En condiciones agrícolas, el endurecimiento ocurre estacionalmente cuando las plántulas se exponen a dichas temperaturas antes del comienzo del invierno. Las condiciones de aclimatación, especialmente la duración, influyen en el nivel de tolerancia lograda. Varios estudios demuestran que las temperaturas letales por congelación de las plantas endurecidas son inferiores en comparación a las plantas no endurecidas (Arbaoui et al., 2008b; Badaruddin y Meyer, 2001; Herzog, 1987). Herzog (1989b) señaló que las plántulas de

habas debían mantenerse al menos durante 10 días a temperaturas bajas de no congelación para alcanzar su nivel máximo de tolerancia a heladas.

El endurecimiento induce cambios fisiológicos y bioquímicos en los tejidos vegetales. Los cambios principales consisten en la acumulación de sacarosa y fructano, incremento de la concentración total de proteína, la acumulación de prolina libre, el incremento de la estabilidad de las membranas celulares, el incremento del contenido de fosfolípidos y ácidos grasos poliinsaturados (linoleico y linolénico) en las membranas celulares y el incremento de la actividad enzimática desaturasa (Arbaoui y Link, 2008).

El contenido e incremento de las cadenas largas de los ácidos grasos poliinsaturados mantiene la fluidez de la membrana del cloroplasto, inhibiendo el almacenamiento de las moléculas lipídicas adyacentes e incrementando la tolerancia a congelación. Es por ello que la acumulación de los ácidos grasos poliinsaturados (18:2 y 18:3) se asocia generalmente con un incremento de la tolerancia al frío (Cyril et al., 2002). En varias investigaciones, entre los 10 ácidos grasos identificados en plantas de habas endurecidas, 6 representaron más del 95% de la composición de los ácidos grasos totales. El principal fue el ácido linolénico (18:3). El endurecimiento incrementó dicho ácido graso en las hojas en un 6,28%, mientras el palmítico (16:0), esteárico (18:0), oleico (18:1), linoleico (18:2) y estearidónico (18:4) descendieron un 0,81%, 0,07%, 3,24%, 1,70% y 0,89%, respectivamente (Arbaoui et al., 2008a). En los tallos, el ácido linolénico se incrementó en 9,06%, mientras que el oleico disminuyó en un 1,77% (Arbaoui y Link, 2008). De este modo, se concluyó que los tallos fueron más tolerantes a la congelación que las hojas y que la variación genética de la tolerancia foliar a heladas es una combinación del resultado de la variación de la tolerancia a heladas sin endurecimiento, y el resultado de la variación de la respuesta al endurecimiento mostrada por los cambios en los contenidos de ácidos grasos (Arbaoui et al., 2008b).

Por otro lado, en leguminosas, varias investigaciones han indicado una relación entre la acumulación de prolina y la tolerancia a heladas. Se considera que la prolina es una sustancia osmóticamente activa, pero su contribución a la adaptación osmótica en legumbres es pequeña. Lo más probable es que actúe también en funciones de estabilización de macromoléculas y membranas (Samuel et al., 1997).

2.5. Norma específica de peritación de daños en producciones de haba verde amparadas por el Seguro Agrario Combinado

Mediante la Orden PRE/135/2011, de 24 de enero, se aprobó la Norma Específica de Peritación de daños en las producciones de guisante verde, judía verde y haba verde, amparados por el Seguro Agrario Combinado. En ella se especifica la pérdida de calidad para el riesgo de helada en haba verde con destino a industria y consumo en fresco (Tabla 3).

Las indicaciones de la tabla para determinar el grado de daño que producen las heladas en habas se basan en la sintomatología y sólo se establecen dos categorías, del 20 y del 100%. Sin embargo, las heladas producen diferentes daños según las intensidades y momento de ocurrencia. Es necesario que las características de la tabla se ajusten a la realidad agronómica, de ahí que en el presente proyecto se simulen heladas en habas en condiciones al aire libre para establecer los criterios necesarios para estimar de manera más precisa las pérdidas producidas por las heladas.

Tabla 3. *Pérdida de calidad para el riesgo de helada en haba verde con destino a industria y consumo en fresco.*

Grupo	Sintomatología	Daño (%)
I	Ligeras decoloraciones que no superen el 5% de la superficie de la vaina o de la semilla, según proceda	20
II	Vainas o semillas necrosadas	100

*Nota: No se computarán en ningún caso: las vainas o semillas que no hubieran sido recolectadas dentro del periodo de garantía, ni las vainas o semillas que aun llegando a la madurez comercial dentro de las garantías, no cumplen las características mínimas de calidad para su comercialización.

3. OBJETIVOS

Los objetivos del presente trabajo son los siguientes:

- Cuantificar y analizar los efectos provocados por dos tipos de heladas, fuertes de invierno y suaves de primavera, en el cultivo al aire libre de las habas mediante la aplicación de heladas artificiales.
- Evaluar cómo afecta el momento de la realización de cada tratamiento de frío al rendimiento en recolección.
- Elaborar bases para la realización de tablas de tasación de daños por heladas en habas.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Localización

El ensayo se llevó a cabo en la finca de prácticas y experimentación agrícola de la Escuela Técnica Superior de Ingeniero Agrónomos de la Universidad Pública de Navarra, Pamplona.

4.2. Características climáticas

Pamplona se caracteriza por un clima mediterráneo, con una clara influencia atlántica. La precipitación media anual se sitúa en los 762 mm y la temperatura media anual en 12,4ºC. Los inviernos son moderados, situándose las medias del mes de enero alrededor de los 5,0 ºC, y la nieve es rara. La precipitación acumulada en los primeros tres meses del año oscila en torno a los 200 l/m^2, y la insolación media diaria varía entre 3,6 y 4,4 horas.

En la tabla 4 se muestran, según la Agencia Estatal de Meteorología, los datos climáticos registrados en Pamplona durante el período de establecimiento del cultivo de las habas (Estación Meteorológica de Pamplona) durante la realización de este proyecto.

Tabla 4. *Datos meteorológicos durante el ciclo de cultivo (2012-2013).*

MESES	**O**	**N**	**D**	**E**	**F**	**M**	**A**	**M**	**J**
Temperatura máxima absoluta (ºC)	29,8	19,7	16,2	17,8	15,8	18,9	28,4	25,2	32,2
Temperatura media de las máximas (ºC)	19,2	13,1	10,6	10,1	8,4	13,4	16,3	15,4	21,5
Temperatura mínima absoluta (ºC)	-0,3	-1,3	-4,8	-1,1	-3,2	-0,6	0,4	2,3	8,2
Temperatura media de las mínimas (ºC)	9,6	5,9	3,4	2,1	2,0	5,1	7,1	7,1	11,9
Temperatura media (ºC)	14,4	9,5	7,0	6,1	5,2	9,3	11,7	11,3	16,7
Precipitación (mm)	151	110	67	293	193	170	74	90	133
Nº de días de helada	1	0	4	8	6	1	0	0	0

Fuente: MeteoNavarra. Gobierno de Navarra, 2013

En relación con las heladas, se registra un número medio de días de helada anuales de 40,3, que se distribuyen a lo largo del año tal como se muestra en la tabla 5. Adicionalmente, en la tabla 6 se muestran las temperaturas medias de mínimas absolutas y las temperaturas mínimas absolutas para Pamplona para el periodo 1880-1990. Se observa que en 2012-2013 ha habido la mitad de días de heladas (20) que un año medio y que la temperatura media mínima absoluta ha sido menor que la de un año medio.

Cabe destacar, por un lado, que la fecha de la primera helada de otoño, fecha antes de la cual la probabilidad de helada es del 10%, es el 28 de octubre. Por otro lado, la fecha de la

última helada de primavera, fecha a partir de la cual la probabilidad de helada es del 10%, es el 25 de abril. Esta última fecha marca el final de periodo de heladas primaverales, que se consideran las más peligrosas en el cultivo del haba por ser en estos meses en los que las habas se encuentran en los estadios más sensibles (floración y cuajado). Estas fechas han marcado, a su vez, la aplicación de heladas en el presente proyecto, que comenzaron en noviembre y terminaron en abril.

Tabla 5. *Número de días mensuales y anuales de heladas en la estación meteorológica de Pamplona.*

Meses	**E**	**F**	**M**	**A**	**M**	**J**	**J**	**A**	**S**	**O**	**N**	**D**	**Total**
Nº días de helada	12,0	9,2	4,3	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	4,0	9,4	40,3

Fuente: MeteoNavarra. Gobierno de Navarra, 2013

Tabla 6. *Temperaturas medias de mínimas absolutas y las temperaturas mínimas absolutas en la estación meteorológica de Pamplona para el periodo 1880 - 2009.*

MESES	**E**	**F**	**M**	**A**	**M**	**J**	**J**	**A**	**S**	**O**	**N**	**D**
Temperatura media de mínimas absolutas (ºC)	-5,7	-4,4	-1,9	0,5	2,9	6,8	9,4	9,3	6,4	2,3	-1,7	-4,5
Temperatura mínima absoluta (ºC)	-18,0	-16,6	-9,0	-3,7	-1,0	3,0	5,5	4,8	1,0	-4,9	-10,0	-17,0

Fuente: MeteoNavarra. Gobierno de Navarra, 2013

4.3. Material vegetal

Se utilizaron semillas de la variedad Bianca de la casa comercial Battle, proporcionadas por Ultracongelados VIRTO.

4.4. Siembra

El cultivo se realizó al aire libre en macetones individuales de 24 l de capacidad (∅ = 40 cm). El 11 de octubre de 2012, se sembraron tres golpes por maceta, con dos semillas por golpe, formando un triángulo isósceles de unos 20 cm de lado, para aproximar las condiciones de crecimiento en macetas a las condiciones del cultivo en campo. La profundidad de siembra fue de 2,5 veces el diámetro de las semillas. Tras la nascencia, en aquellos casos en los que habían emergido las dos plantas del golpe, se eliminó con tijera la planta menos vigorosa, obteniéndose 3 plantas por maceta.

La disposición de las macetas fue en 4 filas de 26 macetas, con un pasillo central.

Se utilizó turba acumulada en el silo del campo de prácticas, por lo que fue necesaria una fertilización de la misma, aplicada a mitad de llenado de cada maceta. Se preparó una mezcla de abonado para aplicar a cada maceta, tal como se observa en la tabla 7. Se preparó

la tierra con el fin de obtener un sustrato mullido en profundidad, pero no hueco, por lo que una vez rellenada la maceta, fue asentada pero sin apelmazar.

Tabla 7. *Abonado aplicado al principio del cultivo.*

	Necesidades (g)		**Aportación (g)**
N	0,5	Nitrato amónico (29%)	1,7
P_2O_5	1,02	Superfosfato (45%)	2,23
K_2O	1,55	Cloruro potásico (60%)	2,58

El haba es una leguminosa capaz de realizar nódulos de nitrógeno en simbiosis con *Rhizobium*. Dado que esta bacteria no estaba presente en la turba utilizada, a cada maceta, y a mitad de llenado de las mismas, se le añadieron 150 g de tierra de cultivo que había soportado habas anteriormente.

Tras el llenado de las macetas, se realizó un riego, se llevaron al umbráculo y se situaron en su posición definitiva.

4.5. Labores

Fertilización

Después de que se iniciara la floración, se observó que las hojas presentaban un color verde claro. La nodulación fue correcta (Figura 3), por lo que las plantas se fertilizaron con una solución de NPK 0-50-50 UF y 1 g de oligoelementos. Se utilizó KH_2PO_4, con un 22% de P y 28,7% de K, y oligoelementos (PS) comerciales.

Figura 3. *Planta de habas del ensayo con nódulos de Rhizobium.*

Riego

Se instaló un sistema por goteo mediante ramales y goteros. Se dispusieron dos líneas de gotero para todo el tunelillo, provistas de goteros de una salida. En cada punto de inserción se instalaron dos goteros seguidos, cada uno compuesto por un pincho y un microtubo. Los goteros se perforaron in situ para colocarlos ajustados a la posición de las macetas. Los dos ramales eran tubos de ∅ 20 mm, de unos 15 m c/u (total 30 m) y 104 goteros de salida, de 3 l/h de caudal.

El riego estaba programado por el sistema existente en el umbráculo y se programó su inicio el 15 de abril, aplicando todos los días 20 minutos de riego.

Malas hierbas

Durante todo el cultivo se realizó la escarda manual de las malas hierbas existentes para evitar pérdidas de producción por competencia.

Enfermedades y plagas

Al inicio del cultivo se dispuso en las macetas metaldehido para evitar la aparición de caracoles. Se observó un pequeño ataque de pulgón negro (*Aphis fabae*), pero dada su escasa incidencia se decidió no tratar las plantas. Al final de ciclo se observó la presencia *Ascochyta fabae*, que produjo mermas no significativas en la producción final.

Tutorado

Aunque las habas se protegieron siempre que las temperaturas descendieron por debajo de los 0ºC, en abril hubo una gran precipitación en forma de nieve que no heló las habas del tunelillo pero que produjo daños en el cultivo, tumbando algunas de las plantas. Por ello, fue necesario tutorar las plantas para optimizar la radiación recibida, tal como se observa en la figura 4.

Figura 4. *Vista general de las plantas que soportaron una carga de nieve y se tumbaron. Aspecto antes y después del tutorado.*

4.6. Diseño experimental

El tratamiento principal fueron los momentos en los que se llevaron a cabo las heladas. El tratamiento secundario fue la temperatura de las heladas. Se aplicaron heladas de -10ºC en el caso de las heladas fuertes de invierno y -2 y -4ºC en el caso de las heladas suaves de primavera. Los momentos de intervención en los que se aplicaron las heladas fueron 7 en total: 3 en invierno y 4 en primavera.

Los lotes de heladas por tratamiento estaban compuestos por 8 macetas con 3 plantas cada una, haciendo un total de 24 plantas por tratamiento. El número de macetas por tratamiento de helada fue de ocho. Dado que se realizaron 3 tandas de heladas fuertes de invierno y 8 heladas suaves de primavera (4 tandas a -2ºC y 4 tandas a -4ºC) con 8 macetas cada una, y teniendo en cuenta que se utilizaron 16 testigos, se necesitaron 104 macetas (88 para los tratamientos y 16 para testigos), tal como se muestra en la Figura 5. El estado fenológico de las plantas en los momentos de intervención puede observarse en la Tabla 8.

4.7. Método de aplicación de las heladas

Los tratamientos de frío se realizaron en la cámara frigorífica situada en la finca de prácticas y experimentación agrícola de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de la Universidad Pública de Navarra.

En cada una de las aplicaciones de heladas, se introdujeron 8 plantas en la cámara frigorífica. Para tener un conocimiento más exacto de las temperaturas existentes en el interior de la cámara y registrar la evolución térmica acontecida se dispusieron tres sondas de temperaturas. La primera se colocó en el interior de la turba de una de las macetas, la segunda se situó entre la masa vegetal de las plantas, encima de las macetas, y la tercera se colocó a unos dos metros de altura, para medir la temperatura ambiente de la cámara. Los datos fueron almacenados y posteriormente volcados a una memoria. Apagada la cámara, las plantas se trasladaron al aire libre para que la subida de la temperatura fuera gradual.

Heladas de invierno: Manipulando el termostato, se produjeron 3 heladas de invierno a una temperatura de -10ºC durante 3 días interrumpidos con 3 ciclos de frío de 10 horas de duración en las fechas indicadas en la tabla 8, para que se produjera la necrosis total de los tallos aéreos (Figura 6). Tras la helada las macetas se sacaron a la calle y se observó la evaluación de los daños en los tallos. Una vez completada la helada, las macetas se trasladaron al tunelillo para proseguir su ciclo.

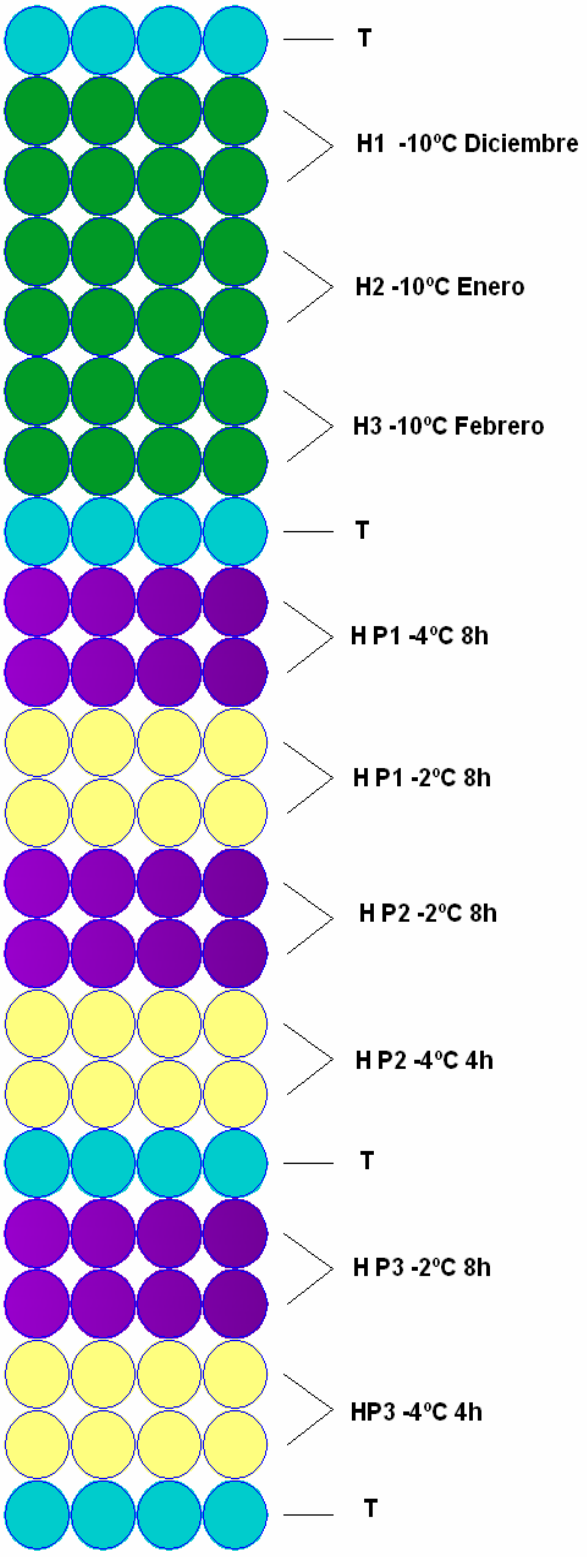


Figura 5. *Esquema de distribución de macetas en el túnel: H1: Helada de invierno 1 / H2: Helada de invierno 2 / H3: Helada de invierno 3 / HP1 -2: Helada de primavera nº 1, a -2ºC / HP2 -2: Helada de primavera nº 2, a-2ºC / HP3 -2: Helada de primavera nº 3, a -2ºC / HP4 -2: Helada de primavera nº 4, a-2ºC / HP1 -4: Helada de primavera nº 1, a -4ºC / HP2 -4: Helada de primavera nº 2, a-4ºC / HP3 -4: Helada de primavera nº 3, a -4ºC / HP4 -2: Helada de primavera nº 4, a-4ºC.*

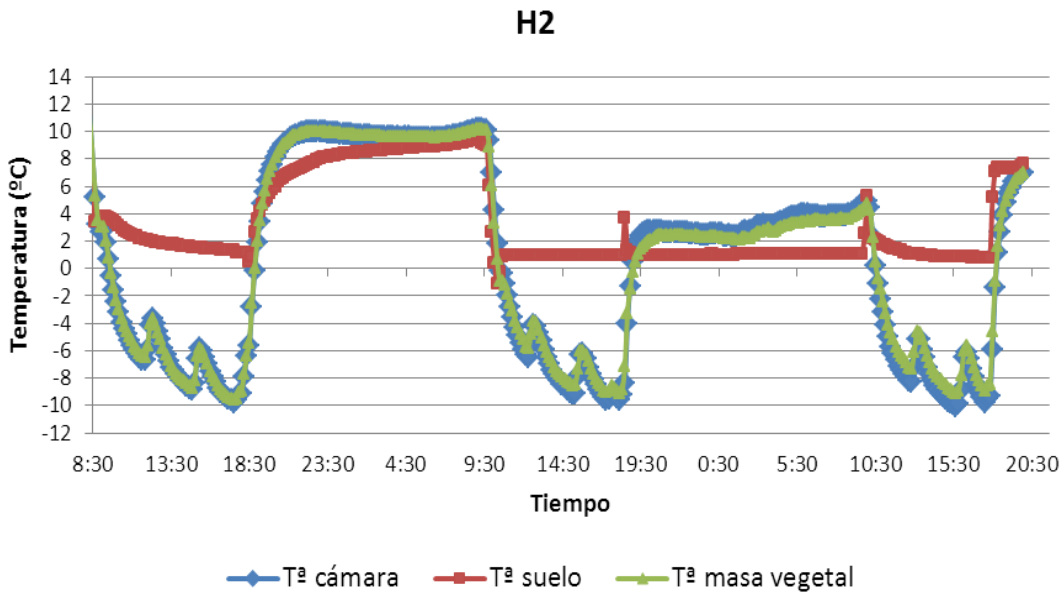


Figura 6. *Evolución de la temperatura de las heladas fuertes de invierno (-10ºC).*

Heladas de primavera: Manipulando el termostato, se aplicaron 4 heladas suaves de primavera, la primera tras la aparición del primer ramillete floral totalmente expandido, en el nudo más temprano, y posteriormente 3 intervenciones más separadas 15 días entre sí, tal como se indica en la tabla 8.

Se utilizaron dos intensidades de helada, a -2ºC y -4ºC, durante 8 y 4 horas respectivamente, realizándose en total 8 tandas de heladas. En estas heladas se pretendían helar las flores y los frutos, pero no las hojas o los tallos (Figuras 7 y 8).

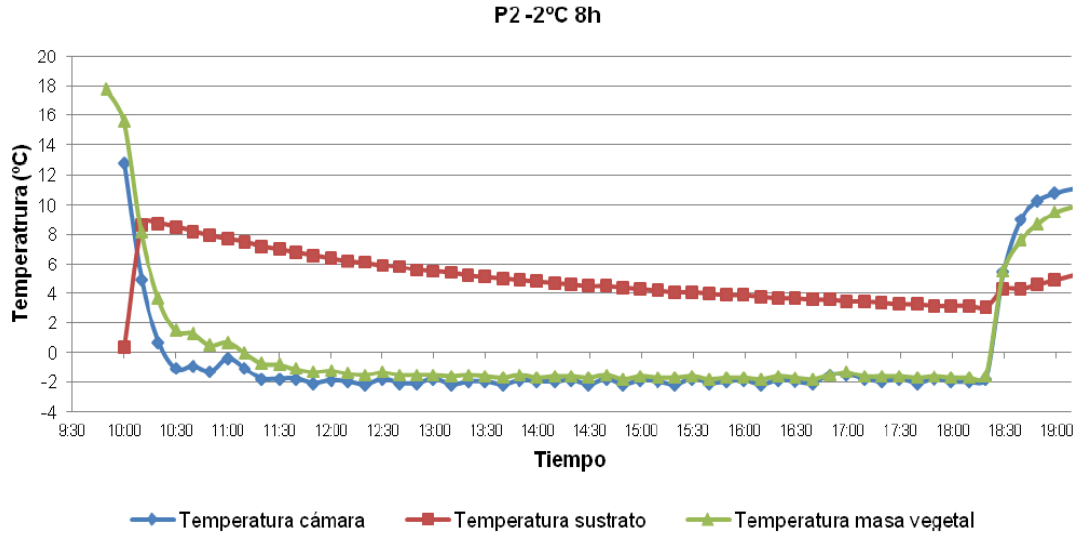


Figura 7. *Evolución de la temperatura de las heladas suaves de primavera a -2ºC.*

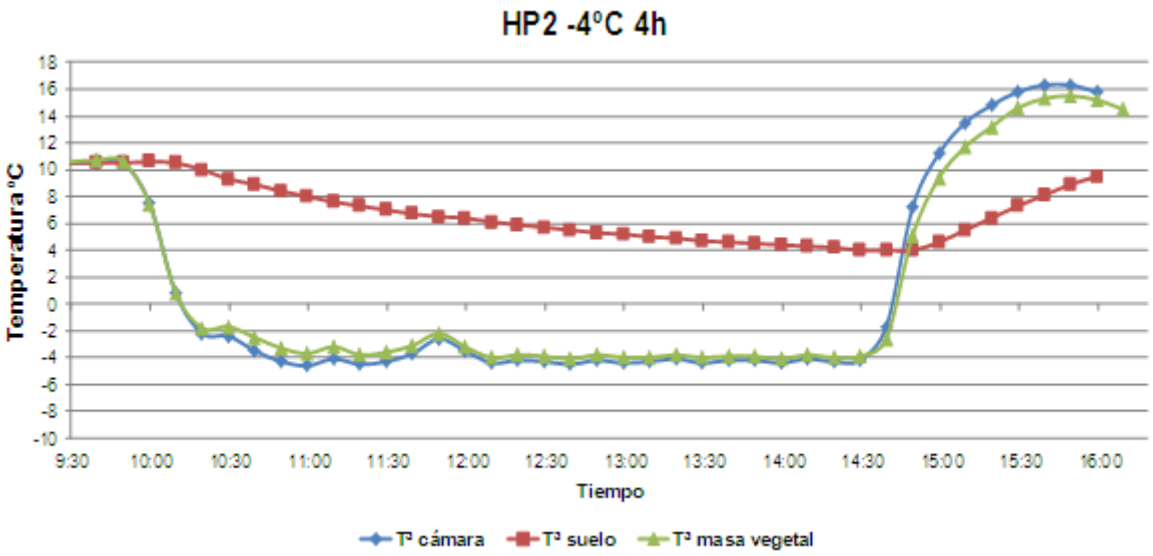


Figura 8. *Evolución de la temperatura de las heladas suaves de primavera a -4ºC.*

El calendario de heladas seguido se detalla en la tabla 8.

Tabla 8. *Calendario de aplicación de las heladas.*

TRATAMIENTO	Fecha	Estadio[(1)]	Descripción
[(2)]H1	14/12/2012	Estadio 2	De 4 a 6 hojas desplegadas.
H2	15/01/2013	Estadio 3	Más de 6 hojas desplegadas hasta el primer racimo floral visible, pero todavía cerrado.
H3	11/02/2013	Estadio 3	Más de 6 hojas desplegadas hasta el primer racimo floral visible, pero todavía cerrado.
HP1 -2	12/03/2012	Estadio 4	Comienzo de la floración. Al menos un racimo floral desarrollado y con alguna flor abierta.
HP1 -4	08/03/2013	Estadio 4	Comienzo de la floración. Al menos un racimo floral desarrollado y con alguna flor abierta.
HP2 -2	26/03/2013	Estadio 4	Comienzo de la floración. Al menos un racimo floral desarrollado y con alguna flor abierta.
HP2 -4	27/03/2012	Estadio 4	Comienzo de la floración. Al menos un racimo floral desarrollado y con alguna flor abierta.
HP3 -2	16/04/2013	Estadio 5	Comienzo del engrosamiento de las vainas. Al menos una vaina engrosando.
HP3 -4	15/04/2013	Estadio 5	Comienzo del engrosamiento de las vainas. Al menos una vaina engrosando.
HP4 -2	29/03/2013	Estadio 5	Comienzo del engrosamiento de las vainas. Al menos una vaina engrosando.
HP4 -4	30/04/2013	Estadio 5	Comienzo del engrosamiento de las vainas. Al menos una vaina engrosando.

[(1)] Norma Específica de Peritación de Daños en la producción de guisante verde, judía verde y haba verde. Boletín Oficial del Estado del 1 de febrero de 2011.

[(2)]: H1: Helada de invierno 1 / H2: Helada de invierno 2 / H3: Helada de invierno 3 / HP1 -2: Helada de primavera nº 1, a -2ºC / HP2 -2: Helada de primavera nº 2, a-2ºC / HP3 -2: Helada de primavera nº 3, a -2ºC / HP4 -2: Helada de primavera nº 4, a-2ºC / HP1 -4: Helada de primavera nº 1, a -4ºC / HP2 -4: Helada de primavera nº 2, a-4ºC / HP3 -4: Helada de primavera nº 3, a -4ºC / HP4 -2: Helada de primavera nº 4, a-4ºC.

4.8. Tunelillo de defensa contra heladas

Dado que el proyecto consistió en una simulación real del efecto de heladas sobre habas en condiciones de campo, el cultivo debía ser necesariamente al aire libre. Esto conllevó la instalación de un tunelillo donde las plantas se desarrollaron al aire libre pero al mismo tiempo, se protegieron contra las heladas en todas las noches en las que había previsión de las mismas. El dispositivo de defensa contra heladas naturales se realizó con un tunelillo con film plástico e instalación de generadores de calor con termostatos de arranque automático. Las plantas se descubrían a la mañana siguiente tras la desaparición del riesgo de helada (Figura 9).

El tunelillo se confeccionó teniendo en cuenta que se iban a poner 4 macetas de fondo, con una anchura de 168 cm, con un pasillo central que facilitara el manejo de las macetas. Los arquillos tenían forma de asa de cesta, con una altura de 130 cm (sobre el suelo + anclaje de 40 cm) y 240 cm de anchura. La longitud del arco era de 500 cm. En total se dispusieron 14 arquillos separados 1 m entre sí, para una longitud de 13 m de túnel.

Los arquillos estaban perforados para pasar alambres de sustentación de film, en la cima y a 60 cm separados entre sí hasta el inicio de la caída. Para dar solidez al conjunto se colocaron 2 barras longitudinales con tornillo de cabeza roma al exterior.

El tunelillo estaba provisto de un film de la mejor calidad térmica y 600 galgas de grueso. Se rechazó colocar un solo film longitudinal de 13 m de largo por su peso y dificultad en el manejo. Por ello, se colocaron tres bandas independientes y trasversales de film cuyo solape era de 100 cm. Se anclaron lateralmente de forma permanente, en la parte longitudinal norte del túnel y libres en la sur, donde se colocaron los elementos de cierre. Los plásticos tenían una sección trasversal de 7 m, aproximadamente, y 17,6 m de longitud (13 m de longitud + 2 solapes de 1 m + 1,3 m a los dos lados de las puertas para sujetar bien el plástico).

Se calcularon las necesidades para un salto térmico de 10ºC (+ 2ºC en el interior → -8ºC en el exterior), siguiendo las indicaciones de la FAO (FAO, 2002).

$$Q = A_u \cdot K' \cdot (ti - ta) = 74{,}1 \cdot 8 \cdot (2 - (-8)) = 5.928 \text{ W}$$

donde:

Q = Necesidades de calor del invernadero (W)

A = Área de la superficie del invernadero (m^2)

K' = Coeficiente global de transmisión de calor ($W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$)

ti = Temperatura requerida dentro del invernadero (ºC)

ta = Temperatura media de las mínimas en el exterior (ºC)

Derivado de ello, se necesitó instalar calefactores con 6.000 W de potencia, para lo cual se compraron dos temoventiladores eléctricos que se dispusieron de manera opuesta en la cara norte del tunelillo, conectados por un tubo metálico perforado. Cada calefactor industrial HH-503E-Y (Garza) tenía una potencia de 3.000 W, con termostato automático y protección por sobrecalentamiento. El sistema se aprovisionó con un termostato de arranque a +2ºC y de parada a los +4ºC. En la Figura 10 se ilustra el funcionamiento del sistema en una noche de helada.

Figura 9. *Apariencia del tunelillo abierto (izquierda) y cerrado en una de las heladas acontecidas en invierno (derecha).*

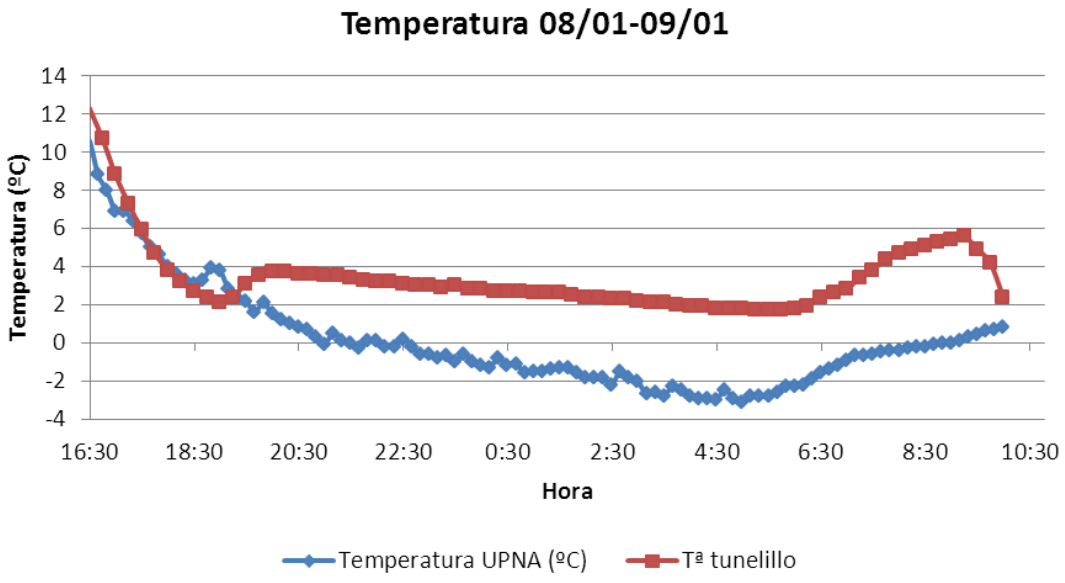


Figura 10. *Ejemplo de evolución de la temperatura en el tunelillo (granate) y fuera del tunelillo en la UPNA (azul) en una noche de helada. Se observa el arranque del termostato a las 19:00, cuando la temperatura alcanza los 2ºC. A lo largo de la noche, cuando se alcanzan los 4ºC en el interior la calefacción se apaga, de manera que la temperatura vuelve a descender lentamente. A las 6:00 vuelve a arrancar la calefacción, puesto que se alcanzan de nuevo los 2ºC y la temperatura vuelve a aumentar. A partir de las 7:00 la temperatura también aumenta, debido a la salida del sol. A las 9:30 la temperatura disminuye para igualarse con la temperatura exterior, puesto que se ha quitado el plástico de protección del túnel.*

4.9. Seguimiento de cultivo

Se realizaron las mediciones que se describen a continuación.

Sobre plantas testigo:

- **Fecha de emergencia**: Inicial (primeras plantas) y final (95% de plantas emergidas).
- **Altura de plantas**: Justo antes de las tres intervenciones de helada fuerte.
- **Nº de tallos secundarios**.
- **Floración:** Las habas van floreciendo sucesivamente en pisos. Se anotó la fecha de emisión del primer piso floral y el nº de nudo en el que se produjo.
- **Floración y cuajado**: A partir de la primera floración, se midió en nº de flores y nº piso de flores emitidas, longitud y grosor de vainas de floraciones anteriores.
- **En recolección**: nº tallos con vainas, piso de inserción de la primera vaina, nº de vainas por planta, peso de vainas y peso de semillas, así como sus diámetros relativos.

Sobre plantas con heladas fuertes

Estas plantas rebrotaron en forma de tallos secundarios que surgieron desde la base de los tallos helados. Se siguió el mismo protocolo que con las plantas testigo.

Sobre plantas con heladas suaves

- **Estado de floración y cuajado antes de las heladas**: Antes de entrar en cámara se determinó sobre 8 plantas representativas (1 por maceta) el estado de las mismas:
    - Nº de flores y vainas por pisos en tallo principal.
    - ∅ de las vainas cuajadas.
    - Nº de tallos secundarios.
    - Nº de flores y vainas por pisos en 2 tallos secundarios.
- **Estado de floración y cuajado después de las heladas**: A los 3-4 días después de aplicar las heladas se realizaron las mismas mediciones sobre las flores, determinando las que se habían helado. A los 7 días se observaron las vainas afectadas, o no, por las heladas. El seguimiento del ensayo a partir de las heladas fue el mismo que con las plantas testigo.

4.10. Recolección

El estándar de recolección de Ultracongelados VIRTO de habas para congelado es que la cosecha debe tener 50-70% de habas baby (tabla 9). La clasificación de la cosecha final se hizo por planta completa y por tamaño, utilizando tamices de 12, 14, 16 y 19 mm de luz. En la tabla 9 se determina el tamaño de las habas según categorías.

Tabla 9. *Clasificación de las habas según su diámetro (mm).*

Nombre	Diámetro menor de la semilla (mm)
Super babies	< 12
Babies	12 – 14
Finas	14 – 16
Extra	16 – 19
Gruesas	> 19

La recolección fue escalonada, según los diferentes tratamientos. Se recogieron por separado las vainas de cada uno de los tratamientos del ensayo en bolsas debidamente etiquetadas. Las fechas de recolección se fijaron empleando el tamiz de diámetro 14 mm, estableciendo como momento de recolección aquel en que el 50% de las semillas pasaban por dicho tamiz (Tabla 10).

Los parámetros medidos en recolección fueron, para cada planta:

- El número de tallos con vainas.
- Punto de inserción de la primera vaina.
- Número de tallos con vaina.
- Peso de vainas.
- Peso de semillas por tamaños.

Tabla 10. *Calendario de recolección.*

Fecha	Tratamiento recolectado
17 de mayo	Testigos
17 de mayo	HP1, HP2, HP3 y HP4 -2
10 de junio	H1 y H2
20 de junio	H3
21 de junio	HP1 -4
25 de junio	HP2 -4
5 de julio	HP3 -4
30 de mayo	HP4 -4

4.11. Cálculo de la reducción de producción

A partir de los datos de producción de cada uno de los tratamientos, se obtuvo el porcentaje de reducción de cosecha, comparando la producción de cada uno de los tratamientos con la del tratamiento testigo (al que no se aplicó helada) mediante la siguiente expresión:

$$\%\,\text{Reducción} = \frac{\%\,\text{Reducción Producción testigos - Producción tratamiento daños}}{\text{Producción testigos}} \text{ x } 100$$

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Evaluación de los daños morfológicos causados por las heladas

En las tablas 11 y 12 se muestran las medias de las mediciones y características de las plantas en cada una de las heladas de invierno y primavera justo antes de la aplicación de las heladas.

Tabla 11. *Mediciones realizadas sobre las plantas sometidas a las heladas de invierno, justo antes de su aplicación (Media ± ES).*

	H1	**H2**	**H3**
Altura tallo principal (cm)	12 ± 0,3	17 ± 0,5	25 ± 1,3
Nº hojas	5 ± 0,2	7 ± 0,2	8 ± 0,6
Nº tallos secundarios	2 ± 0,2	5 ± 0,3	6 ± 0,8

Tabla 12. *Mediciones realizadas sobre las plantas sometidas a las heladas de primavera justo antes de su aplicación (Media ± ES).*

	HP1 -2	**HP2 -2**	**HP3 -2**	**HP4 -2**	**HP1 -4**	**HP2 -4**	**HP3 -4**	**HP4 -4**
Altura tallo ppal (cm)	46 ± 0,9	55 ± 1,1	75 ± 1,8	84 ± 3,5	42 ± 1,4	59 ± 1,5	78 ± 2,1	84 ± 3,2
Altura tallos 2^{OS} (cm)	40 ± 1,6	49 ± 1,4	72 ± 1,7	77 ± 2,9	37 ± 1,9	55 ± 1,1	79 ± 1,1	76 ± 1,8
Nº total tallos	8 ± 0,4	7 ± 0,4	7 ± 0,4	8 ± 0,7	7 ± 0,7	7 ± 0,6	6 ± 0,5	6 ± 0,5

En la tabla 13 se muestran las medias de los resultados de los controles realizados sobre los órganos reproductivos de las plantas tras su introducción en la cámara frigorífica, tres días después de la realización de las heladas de primavera. En la tabla 14 se indica el nudo en el que estaba el primer piso floral el día de aplicación de cada una de las heladas y el nudo en el que se insertó el primer fruto en recolección.

Estos resultados se irán analizando en la descripción detallada de cada uno de los tratamientos.

Tabla 13. *Mediciones realizadas sobre los órganos reproductivos de las plantas sometidas a las heladas de primavera.*

	HP1 -2	**HP2 -2**	**HP3 -2**	**HP4 -2**	**HP1 -4**	**HP2 -4**	**HP3 -4**	**HP4 -4**
Nº flores total/planta	7	27	13	0	10	40	4	0
Flores afectadas/planta (%)	38	52	0	-	100	85	96	-
Nº BF total/planta	26	22	1	0	18	11	0	0
BF afectados/planta (%)	26	31	0	-	71	86	-	-
Nº vainas total/planta	0	0	9	13	0	0	14	12
Vainas afectadas/planta (%)	-	-	20	8	-	-	96	51
Longitud de vainas (mm)	-	-	28	68	-	-	29	57
Diámetro de vainas (mm)	-	-	<4	7	-	-	<4	6

Tabla 14. *Comparación del número del primer piso floral el día de la helada y el número del piso de inserción del primer fruto en recolección según los tratamientos aplicados (Media ± ES).*

	Testigos	**H1**	**H2**	**H3**	**HP1 -2**	**HP2 -2**	**HP3 -2**	**HP4 -2**	**HP1 -4**	**HP2 -4**	**HP3 -4**	**HP4 -4**
1º Piso floral día de helada	-	-	-	-	7± 0,2	6± 0,2	7± 0,2	7± 0,3	7± 0,3	6± 0,2	6± 0,2	7± 0,5
Inserción del 1º fruto en recolección	6±0,4	5±0,3	5±0,3	2±0,2	6±0,3	7±0,3	7±0,3	6±0,4	4±0,2(*)	4±0,4(*)	4±0,2(*)	7±0,7

(*) En tallos rebrotados.

5.1.1. Heladas de invierno

Inicialmente, se observó que la aplicación de un solo ciclo de helada de 8 horas a -10ºC no producía daños graves en la planta, por lo que se aplicaron tres ciclos interrumpidos de 8h, durante tres días seguidos, a -10ºC. Tras este tipo de helada tanto los tallos como las hojas se necrosaron totalmente. A los pocos días se observó la aparición de rebrote desde la base de los tallos (Figura 11), que son los que dieron lugar a la producción. Este rebrote fue abundante y rápido, de manera que la primera helada de invierno, en diciembre, alcanzó casi el mismo tamaño que las testigo en recolección, sin embargo, la planta estaba atrasada, pues la floración de los testigos fue el 5 de marzo y la de las demás heladas ocurrió con, aproximadamente, un mes de retraso.

En esta fase las plantas todavía no habían entrado en la etapa reproductiva, por lo que no se dañaron flores y/o vainas.

Cabe destacar los problemas que encontramos a la hora de que la segunda helada de invierno (en enero, H2) produjera los mismos daños que las heladas de diciembre y febrero. Esto podría deberse a que la planta sufrió antes de la helada unos días previos de mucho frío (hasta -3,1ºC durante tres días), por lo que podría haber sufrido un proceso de endurecimiento y por tanto, soportaba mejor la helada, tal como indican algunos autores (Herzog, 1989b; Arbaoui y Link, 2008).

Figura 11. *Daños provocados por las heladas de invierno (izquierda) y rebrote desde la base a los pocos días de las heladas (derecha).*

Dos semanas después de la última helada de invierno (H3), se hizo el seguimiento de las tres heladas, de manera que las H1 estaban muy retrasadas con respecto al tratamiento testigo pero no había diferencias con las H2. Las dos habían empezado a rebrotar y presentaban nuevos tallos de 15 cm de altura, frente a los 45 cm de la testigo. Las H3 estaban más retrasadas, y aunque mantenían los tallos necrosados, en dos semanas la planta fue capaz de desarrollar rebrote, con tallos de 8 cm de altura (Figura 12).

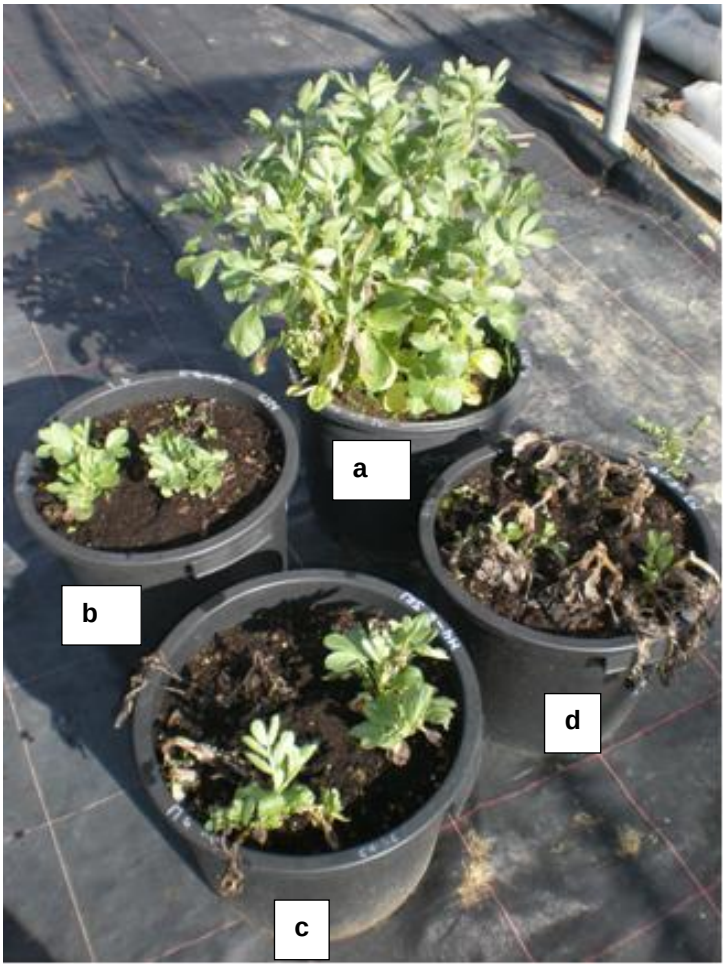


Figura 12. *Comparación de las tres heladas de invierno a fecha 4 de marzo: a) testigo, b) H1, c) H2 y d) H3.*

5.1.2. Heladas suaves de primavera (-2ºC)

Después de la aplicación de la helada de -2ºC, en un único tratamiento de 8 horas, se realizó la evaluación visual de los tallos, hojas, botones florales, flores y vainas. Los daños a simple vista no parecían graves (Figura 13), ya que por una parte, algunas hojas basales se ennegrecieron pero la mayoría permanecieron verdes, sin daños aparentes, y por otra parte, los tallos se mantuvieron erectos en gran parte de los casos. Esto confirma los resultados de otros estudios en los que se concluye que los tallos son más tolerantes a las heladas que las hojas (Arbaoui et al., 2008b).

Figura 13. *Macetón con tres plantas antes (izquierda) y después (derecha) de la primera helada primaveral a -2ºC.*

En el caso de las dos primeras heladas (HP1 -2 y HP2 -2), sobrevivieron el 62 y 48% de las flores y el 74 y 69% de los botones florales, respectivamente, con diferente grado de gravedad. Podemos decir que las flores adultas son más susceptibles a las heladas que los botones florales. De todos modos, cabe destacar que en la segunda helada pudieron darse fallos en la evaluación de las flores dañadas, puesto que las flores secas podrían haberse confundido con vainas recién cuajadas cuyos pétalos, secos también, no se habían desprendido. Los daños se presentaron de diferente manera: algunas flores se ennegrecieron completamente, otras tenían apariencia seca o marchita y los botones florales tomaban apariencia ennegrecida (Figura 14). En los dos últimos tratamientos (HP3 -2 y HP4 -2), las flores ya estaban cuajadas y las vainas empezaban a engrosar. Sobre éstas no se aprecian daños significativos, a excepción de alguna vaina ligeramente necrosada (Figura 15).

Figura 14. *Detalles de flores tras las heladas a -2ºC: (1) completamente ennegrecidas, (2) sin ningún daño aparente, (3) botones florales ennegrecidos y (4) botones florales un poco ennegrecidos con flores aparentemente bien.*

Figura 15. *Detalle de las vainas tras la helada primaveral de -2ºC.*

5.1.3. Heladas fuertes de primavera (-4ºC)

Las heladas fuertes de primavera a -4ºC provocaron daños morfológicos apreciables y comparables a los producidos por las heladas de invierno (Figura 16). Debe tenerse en cuenta que este tipo de heladas tuvo una duración de sólo 4h. La mayoría de los tallos se doblaron y presentaron una apariencia verde-acuosa ennegrecida. Además, las hojas se necrosaron completamente, tal como sucedió con las plantas sometidas a las heladas de invierno.

Figura 16. *Daños producidos por las heladas de invierno (izquierda) y las heladas fuertes de primavera (-4ºC) (derecha).*

En general, todos los órganos reproductivos se vieron afectados (Figura 17). En las dos primeras heladas, HP1 -4 y HP2 -4, los daños a las flores y botones florales fueron muy significativos, afectando entre el 100 y 85% de daños a las flores y 71 y 86% a los botones florales. Al igual que ocurrió en las heladas de invierno y en las primaverales suaves (-2ºC), las flores fueron más sensibles que los botones florales. Las heladas HP3 -4 y HP4 -4, provocaron la necrosis del total (96%) y la mitad de las vainas (51%), respectivamente.

Figura 17. *Detalle de las vainas tras la helada primaveral a -4ºC.*

5.2. Evaluación de los daños productivos causados por las heladas

Los resultados pueden verse resumidos en las tablas 15, 16 y 17, y la figura 18, que se irán describiendo a lo largo de los siguientes apartados.

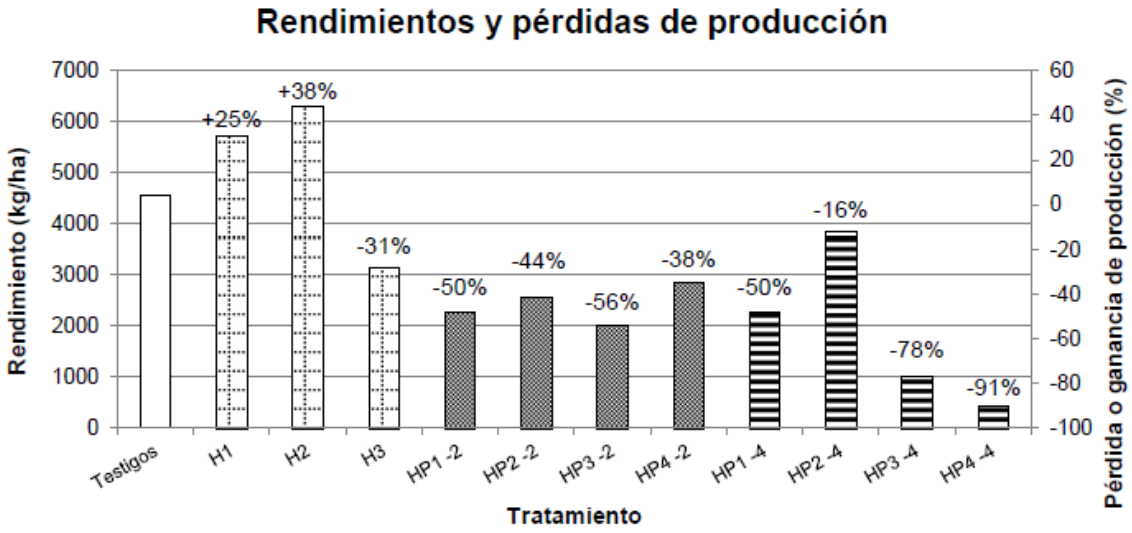


Figura 18. *Rendimientos (izquierda) y pérdidas de producción (derecha) con respecto a los testigos, de cada uno de los tratamientos aplicados.*

5.2.1. Heladas de invierno

Características comunes de las tres heladas

La cosecha de las plantas heladas en invierno provino de los tallos de rebrote surgidos de la base, puesto que los tallos existentes antes de la aplicación de las heladas se necrosaron. Ello supuso un retraso en la recolección de 25 días en el caso de las heladas de diciembre y enero y 35 días en el caso de las heladas de febrero. Este retraso implica un alargamiento de ciclo de cultivo y los problemas asociados para el agricultor que puede tener previstas otras labores en la misma parcela.

La producción no se vio afectada, es más, la producción fue mayor que la de los testigos en todos los casos, aunque se observó una tendencia a la disminución cuanto más tarde tiene lugar la helada.

La relación grano/vaina (≈ 0,30) fue mayor que en las plantas testigo (0,17) y el número de tallos con vaina fue menor (≈ 3 frente a ≈ 4,5). Asimismo, el número de vainas por planta también fue menor. Sin embargo, el peso medio de las vainas fue sensiblemente superior en las plantas tratadas, con 22 g/vaina, frente a los 16 g/vaina de las testigo.

Tabla 15. *Resumen de datos productivos por planta viva de los diferentes tratamientos (Media ± ES) .Datos relativos a cada una de las plantas.*

	Testigos	H1	H2	H3	P1 -2ºC	P2 -2ºC	P3 -2ºC	P4 -2ºC	P1 -4ºC	P2 -4ºC	P3 -4ºC	P4 -4ºC
Nº vainas por planta	11 ± 0,7	7 ± 0,8	7 ± 1,0	5 ± 0,6	4 ± 0,5	7 ± 0,8	6 ± 0,8	6 ± 0,6	5 ± 1,1	6 ± 0,7	2 ± 0,4	1 ± 0,7
Peso vainas por planta (g/planta)	187 ± 12,9	160 ± 18,2	169 ± 25,0	98 ± 12,3	99 ± 16,1	106 ± 12,3	82 ± 10,7	128 ± 18,5	98 ± 19,2	83 ± 11,8	33 ± 5,5	51 ± 8,0
Peso granos por planta (g/planta)	32 ± 4,0	46 ± 4,5	48 ± 8,1	31 ± 4,7	18 ± 3,9	21 ± 3,2	15 ± 2	23 ± 3,7	33 ± 8,1	36 ± 5,6	11 ± 2,1	10 ± 2,7
Relación grano/vaina	0,2 ± 0,01	0,3 ± 0,02	0,3 ± 0,01	0,3 ± 0,03	0,2 ± 0,02	0,2 ± 0,02	0,2 ± 0,02	0,2 ± 0,01	0,3 ± 0,03	0,4 ± 0,03	0,3 ± 0,02	0,2 ± 0,03
Nº tallos con fruto	4,9 ± 0,36	2,8 ± 0,31	3,2 ± 0,37	3,9 ± 0,28	3 ± 0,24	3,4 ± 0,27	2,8 ± 0,24	3,1 ± 0,39	2,9 ± 0,35	2,9 ± 0,23	2 ± 0,23	2,6 ± 0,43

Tabla 16. *Resumen de datos productivos por planta viva de los diferentes tratamientos .Datos relativos al conjunto de plantas por tratamiento.*

		Testigos	H1	H2	H3	P1 -2ºC	P2 -2ºC	P3 -2ºC	P4 -2ºC	P1 -4ºC	P2 -4ºC	P3 -4ºC	P4 -4ºC
% Mortalidad		0	12,5	8,3	29,2	12,5	12,5	4,2	16,7	45,8	25	41,7	70,8
Peso granos según diámetro (%)	**<12**	19	10	10	10	25	16	29	18	6	14	10	15
	12-14	37	82	77	64	46	35	35	60	57	72	77	54
	14-16	29	8	13	26	23	27	24	17	33	14	13	31
	16-19	13	0	0	0	3	18	12	4	4	0	0	0
	>19	2	0	0	0	0	3	1	0	0	0	0	0
% Habas baby		56	92	87	74	71	51	64	78	63	86	87	69
Procedencia habas		---	Rebrote	Rebrote	Rebrote	Viejas	Viejas	Viejas	Viejas	(*)	(*)	(*)	Viejas
Retraso con respecto a testigos(días)		0	24	24	34	0	0	0		35	39	49	13
Reducción de la producción (granos) (%)		0	+44	+50	-3	-44	-34	-53	-28	+3	+13	-66	-69

(*) El estadío reproductivo se encuentra en las tres fases: floración en el primer piso, vainas recién cuajadas en el 3,4 y 5º piso y vainas para recolección en los tallos viejos y helados (ver tabla13).

Tabla 17. *Rendimiento (kg/ha) de cada tratamiento, teniendo en cuenta la mortalidad, suponiendo un marco de plantación de 70 cm x 10 cm.*

	Testigos	H1	H2	H3	HP1 -2ºC	HP2 -2ºC	HP3 -2ºC	HP4 -2ºC	HP1 -4ºC	HP2 -4ºC	HP3 -4ºC	HP4 -4ºC
Rendimiento (kg/ha)	4.571	5.714	6.286	3.143	2.286	2.571	2.000	2.857	2.286	3.857	1.000	429

Hubo una gran homogeneidad en el tamaño de las habas recolectadas, presentándose esto como un factor positivo a la hora de elegir el momento óptimo de recolección y aprovechamiento de la cosecha. Más del 74% de las habas se clasificaron como baby. Esta uniformidad podría deberse a que los granos procedían de los tallos de rebrote, tal como se ha mencionado anteriormente, puesto que la floración en dichos tallos fue rápida y de entrenudos más cortos. Asimismo, el piso de inserción de la primera vaina es más bajo (piso 5 en H1 y H2, y piso 2 en H3) que el de los testigos (piso 6) (ver tabla 14).

La mortalidad de las plantas estuvo condicionada al momento de intervención con heladas, observándose una clara tendencia al aumento de la misma conforme se retrasó el momento de helada. En general, la sanidad del cultivo fue mejor en las plantas que sufrieron helada, observándose menor incidencia de *Ascochyta* y pulgón en primavera.

Características específicas de la helada de diciembre

Esta helada produjo una mortalidad del 12,5%. La producción de habas fue superior a la de los testigos en un 44% y pudo observarse una mayor homogeneidad en el calibre de los granos. El 92% de las habas se clasificó como habas baby, por debajo de los 14 mm de diámetro y el 82% se encontró entre los diámetros 12 y 14 mm.

Características específicas de la helada de enero

La helada de enero produjo una mortalidad del 8,3%. La producción no se vio afectada en comparación con los testigos, sino que aumentó en un 50% y fue igual a la de la helada de diciembre. Se observó una gran homogeneidad en los calibres de los granos: el 87 % de los granos tenían un diámetro menor a 14 mm y el del 77% de las habas era de entre 12 y 14 mm.

Características específicas de la helada de febrero

La helada de febrero produjo una mortalidad del 29%. La producción fue similar a la de los testigos (-3%), pero el calibre de las habas fue más homogéneo que en los testigos, en menor medida que las heladas de diciembre y enero, concentrándose el 74% de las habas por debajo de los 14 mm de diámetro.

5.2.2. Heladas suaves de primavera (-2º)

Características comunes de las cuatro heladas

Debido a que la helada a -2ºC no produjo la necrosis total de los tallos y, en consecuencia, no hubo rebrote, las vainas procedían en su totalidad de tallos viejos, por lo que la recolección se realizó al mismo tiempo que las plantas testigo, no hubo retraso.

Según la evaluación visual de daños, las flores jóvenes y botones florales se vieron menos afectados que las flores adultas, y las vainas recién cuajadas se dañaron más que las vainas maduras. Aunque se produjo una reducción de la producción en comparación con las plantas testigo de entre el 28 y el 53%, no se observó una tendencia clara en este descenso

según el momento de actuación. Igualmente, el peso medio por vaina osciló entre los 14,0 y los 31,5 g/vaina, pero en general se situó por encima de los testigo (16 g/vaina).

El número de tallos con vaina (≈3) fue menor que el de los testigos, por lo que el número de vainas por planta también fue menor. Sin embargo, el piso de inserción de la primera vaina fue comparable al de los testigos, entre el 6º y 7º. Igualmente, la relación grano/vaina fue similar en todos los casos, y muy parecida a la de los testigos. Aunque las habas baby supusieron el 71, 51, 64 y 78% de la producción en las heladas 1, 2, 3 y 4, respectivamente, se observó, al igual que en las plantas testigo y en contraposición a las plantas heladas en invierno, una gran heterogeneidad en el calibre de los granos. Ello se debe a que los tallos formados en las etapas iniciales del cultivo poseen entrenudos más largos y florecen en pisos, escalonadamente a lo largo del tiempo.

El estado sanitario de las plantas fue bueno y la mortalidad de las plantas no fue muy alta, debido a que la temperatura de -2 ºC no daña las partes vegetativas de la planta, sólo flores y vainas jóvenes.

Características específicas de P1 -2ºC: Helada de primavera 1 (-2ºC)

El porcentaje de mortalidad fue del 12,5% y la producción se redujo en un 44% en relación a los testigos.

Características específicas de P2 -2ºC: Helada de primavera 2 (-2ºC)

El porcentaje de mortalidad fue del 12,5% y la producción se redujo en un 34% en relación a los testigos. Los granos presentan gran heterogeneidad de calibres, las habas baby solo representan el 51% del total.

Características específicas de P3 -2ºC: Helada de primavera 3 (-2ºC)

El porcentaje de mortalidad fue del 4%, muy baja, y la producción se redujo en un 53% en relación a los testigos.

Características específicas de P4 -2ºC: Helada de primavera 4 (-2ºC)

El porcentaje de mortalidad fue del 16,7% y la producción se redujo en un 28% en relación a los testigos.

5.2.3. Heladas fuertes de primavera (-4ºC)

La helada a -4ºC produjo la necrosis total de los tallos, en consecuencia, hubo rebrote y las vainas recolectadas provenían de tallos viejos y nuevos, tal como se observa en la tabla 17. El rebrote se encontraba más atrasado con respecto a los tallos viejos y dentro de la misma planta podían encontrarse varios estadíos reproductivos (flores, vainas recién cuajadas, vainas en crecimiento y vainas recolectables) (Figura 19). En estas plantas también el piso de inserción del primer fruto fue más bajo en el rebrote que en los tallos viejos, es decir, aquellas

plantas rebrotadas en primavera presentaban frutos en los primeros nudos (piso 4º), lo que podría suponer un problema a la hora de la recolección mecanizada. Por el contrario, el piso de inserción del primer fruto en las plantas de la helada HP4 -4 fue el 7º, puesto que estas vainas provenían de tallos viejos y no de rebrote. Todo ello, unido al hecho de que las heladas se produjeron en momentos diferentes, dificultó mucho la decisión de cuándo cosechar.

Tabla 18. *Procedencia de las vainas según la helada en las plantas tratatadas a -4ºC.*

	P1 -4ºC	P2 -4ºC	P3 -4ºC	P4 -4ºC
Tallos viejos	20%	40%	60%	100%
Tallos nuevos (rebrote)	80%	60%	40%	0%

Figura 19. *Diferentes estadíos en la misma planta debido a la helada. Se observa rebrote, del que saldrán flores y vainas nuevas y vainas heladas y no heladas en tallos viejos.*

La evolución de la producción media por planta viva fue muy desigual, ya que en las dos primeras heladas la producción se mantuvo con respecto a los testigos, mientras que en las dos últimas se produjo un gran descenso. Asimismo, las heladas provocaron altos porcentajes de mortalidad, en torno al 50% en los cuatro tratamientos, lo que supuso un descenso importante de la producción final total y demostró que la planta va perdiendo resistencia frente a las heladas conforme avanza su estado vegetativo y entra en el estado reproductivo.

Además, el retraso en la recolección fue de más de un mes, siendo tanto mayor el retraso cuanto más tarde se produjo la helada. Gran parte de la cosecha se produjo a partir del rebrote y dadas las fechas en las que se aplicaron las heladas los nuevos tallos tuvieron que formarse en fechas de cultivo ya avanzadas (marzo y abril). Esto no ocurrió en el último tratamiento (P4 -4ºC) ya que al estar las vainas más avanzadas, la recolección fue en su totalidad de tallos ya formados antes de la helada, de ahí que el retraso fuera menor.

En general, se apreció una relación grano/vaina más alta que en los testigos y el número de tallos con vaina fue menor. El porcentaje de habas baby fue alto (63-87%), aunque la uniformidad distó mucho de las heladas de invierno y se asemejó más a las habas con heladas primaverales y testigos.

La mortalidad de las plantas fue muy alta, oscilando entre el 25 y 70%, según tratamientos, lo que corrobora que la planta va perdiendo resistencia frente a heladas a medida que su estado fenológico avanza y entra en el estado reproductivo. El estado sanitario de las plantas fue malo, con plantas débiles y muchas de ellas afectadas de pulgón, pese a los tratamientos aplicados.

Hay que señalar que la termometría (moderadamente baja) y la pluviometría (con alta higrometría ambiental) ocurridas en primavera de 2013 han facilitado el rebrote de las plantas heladas. La ocurrencia de días soleados, secos y con mayores temperaturas ambientales habría provocado unos resultados diferentes. Hay que esperar a los resultados de los ensayos programados para 2014 para conocer nuevas respuestas a las heladas según las condiciones del año.

Características específicas de P1 -4ºC: Helada de primavera 1 (-4ºC)

Las vainas se originaron en su mayoría en tallos de rebrote (80%), ya que muchos de los tallos existentes antes de la helada se necrosaron. La producción por planta viva es similar a la de las plantas testigo, 33 g/planta; no obstante, se debe considerar que la mortalidad fue de casi el 50%, por lo que la producción total fue muy inferior a la de los testigos. El retraso en recolección fue de 25 días.

Características específicas de P2 -4ºC: Helada de primavera 2 (-4ºC)

La procedencia de las vainas fue en su mayoría de rebrote (60%), aunque las vainas de tallos viejos fueron muy abundantes (40%). Las vainas cuajadas y no heladas fueron las que dieron lugar a las vainas de los tallos viejos, lo que demuestra que después del cuajado las vainas aumentan su resistencia, conforme su tamaño aumenta (Liu et al, 1987).

La producción por planta viva fue algo mayor que en el caso de las testigo, sin embargo, una cuarta parte de las plantas utilizadas murieron, por lo que la producción total neta fue algo menor y debe tenerse en cuenta el gran retraso en la recolección, de 39 días. Por último, cabe destacar la gran uniformidad en el calibre de los granos, encontrándose el 86% por debajo de los 14 mm de diámetro.

Características específicas de P3 -4ºC: Helada de primavera 3 (-4ºC)

La recolección provino en su mayoría de tallos viejos, preexistentes antes de la helada (60%), aunque la aportación de los brotes nuevos fue elevada (40%), un comportamiento similar a la P2 -4ºC.

La producción por planta viva (11 g/planta viva) fue muy inferior a las plantas testigo, lo que unido a la mortalidad, del 42%, resultó en un rendimiento muy bajo y una pérdida de producción cercana al 78%. La razón por la cual sucedió esto fue que la helada causó grandes daños en la planta, siendo el retraso de la cosecha de 49 días y la recuperación de la planta no tan notable como en los casos anteriores debido a la influencia de la temperatura en floración. Anteriormente, se ha mencionado que la termometría primaveral baja y la pluviometría alta facilitaron el rebrote de las plantas heladas. Sin embargo, por un lado, la floración del rebrote de estas plantas se produjo desde finales de mayo hasta finales de junio. Por otro lado, temperaturas constantes por encima de 23ºC, pueden inhibir la floración (Summerfield y Roberts, 1985). Asimismo, temperaturas elevadas durante el periodo comprendido entre la floración y el cuajado de las vainas pueden provocar abortos tanto de flores como de vainas inmaduras, aumentando la fibrosidad en las vainas, con la consiguiente pérdida de calidad si es para consumo en fresco (Nadal et al., 2008). En ensayos anteriores con habas, también se demostró que las plantas cultivadas en régimen de 26ºC día/16ºC noche abortaron flores recién formadas y vainas mucho más que plantas cultivadas en régimen de 16ºC/16ºC (Dekhuijzen et al., 1981), por lo que se corrobora que ni las temperaturas altas ni las fluctuaciones de temperatura favorecen el estado reproductivo.

Las flores y vainas jóvenes del rebrote pudieron verse afectadas por las altas temperaturas diurnas alcanzadas a finales de primavera y principios de verano (incluso hasta 31ºC en las horas centrales del día) y las bajas temperaturas nocturnas alcanzadas en la misma época (menores a 3ºC en muchas ocasiones), siendo la causa de que aun retrasando la fecha de recolección, la planta no fuera capaz de igualar las producciones de las plantas testigo. Además, en el caso de las habas, en los días de verano la tasa fotosintética puede ser

inferior a la respiración, de manera que la planta no crece adecuadamente y el rendimiento se ve afectado.

En este caso también se observó gran uniformidad en los calibres de los granos, concentrándose el 87% de los granos por debajo de los 14 mm y el 77% entre 12 y 14 mm.

Características específicas de P4 -4ºC: Helada de primavera 4 (-4ºC)

La totalidad de la producción procedió de tallos viejos, preexistentes antes de la helada, ya que el rebrote no tuvo tiempo de desarrollarse adecuadamente, debido a las altas temperaturas. No se esperaba que este rebrote produjera vainas, por lo que el retraso en la recolección fue únicamente de 13 días. La producción por planta viva fue muy inferior a los testigo, con tan solo 10 g/planta, lo que unido a la alta mortalidad (70,8%), supuso un descenso del 91%.

5.2.4. Comparación daños producidos por heladas a -2 y a -4ºC

En general, para el mismo momento de intervención, existen importantes diferencias entre las plantas heladas a -2ºC y -4ºC (Figura 20). Además de las características generales anteriormente descritas, sobre todo el gran descenso de la producción, podemos decir que las plantas que se sometieron a menor temperatura (-4ºC) presentaron mayor mortalidad, mayor relación grano/vaina, mayor porcentaje de habas baby (excepto en P1) y un peor estado sanitario. Es destacable también el retraso en la recolección que sufren las plantas sometidas a la helada de -4ºC. Las principales diferencias se muestran en la tabla 18.

Tabla 19. *Diferencias entre tratamientos de heladas primaverales.*

HELADA PRIMAVERAL DÉBIL -2 ºC	HELADA PRIMAVERAL FUERTE -4 ºC
Daños muy importantes en producción debido al menor peso medio de vainas por planta.	Daños muy importantes debidos a la alta mortalidad de las plantas.
Producción procedente en su totalidad de tallos viejos.	Producción procedente de tallos viejos y de rebrote dependiendo del momento de intervención.
No hay retraso en la recolección.	Hay un retraso de más de un mes.
Mucha heterogeneidad en los calibres.	Menor heterogeneidad de calibres.
Peso medio por vaina muy variable (14,0 a 31,5 g/vaina).	Peso medio por vaina entre 14 y 19 g/vaina.
Relación grano/vaina de 0,18.	Relación grano/vaina de 0,33.
Mortalidad baja (10%).	Mortalidad alta (50%).
Estado sanitario bueno.	Estado sanitario deficiente.

Figura 20. *Comparación de los daños producidos por las heladas primaverales de -4ºC (delante) y -2ºC (detrás) aplicadas en las mismas fechas.*

6. CONCLUSIONES

La principal conclusión es el descenso en la tolerancia a heladas de las plantas al pasar de la fase vegetativa, en la cual gracias al endurecimiento las plantas son capaces de resistir temperaturas bastante por debajo de cero sin producirse grandes daños, a la fase reproductiva, en la cual ligeras heladas tienen efectos importantes sobre la planta.

Dentro de las heladas primaverales, cabe destacar que con variaciones pequeñas de temperatura de 2ºC, al pasar de -2ºC a -4ºC, los daños producidos sobre la planta y su posterior producción difieren mucho.

Las conclusiones generales de los tres tipos de heladas serían las siguientes:

HELADAS DE INVIERNO (-10ºC)

- Aunque causan daños significativos en la planta, no tienen efecto en la producción, debido a la gran capacidad de rebrote de la planta.
- La producción es normal o incluso superior a la de los testigos.
- Debido a las características de los rebrotes (floración agrupada, entrenudos cortos), la cosecha tiene un calibre más homogéneo.
- El retraso en la recolección es de aproximadamente un mes.

HELADAS DE PRIMAVERA SUAVES (-2ºC)

- No producen daños significativos en la planta pero sí un importante descenso de la producción, en torno al 40 %, al dañar las flores y vainas jóvenes.
- La totalidad de la producción procede de tallos preexistentes antes del tratamiento, por lo que la recolección se produce en las fechas normales, sin retraso.

HELADAS DE PRIMAVERA FUERTES (-4ºC)

- Se produce un gran descenso de la producción debido al menor peso de granos por planta viva pero sobre todo a la alta mortalidad de las plantas, lo que pone de manifiesto un descenso de la resistencia a heladas de la planta cuando entra en la fase reproductiva.
- Se produce un retraso en la recolección debido al diferente origen de las vainas, tallos de rebrote y preexistentes, conforme avanza la madurez de las vainas.
- En heladas tempranas se produce rebrote, mientras en heladas tardías no hay posibilidad de ello.

7. BIBLIOGRAFÍA

AGROSEGURO, S. A. (2011). Informe anual, 2011. Madrid.

Arbaoui, M., Balko, C., y Link, W. (2008a). Study of faba bean (*Vicia faba* L.) winter-hardiness y development of screening methods. *Field Crops Research* **106**, 60-67.

Arbaoui, M., y Link, W. (2008). Effect of hardening on frost tolerance and fatty acid composition of leaves and stems of a set of faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes. *Euphytica* **162**, 211-219.

Arbaoui, M., Link, W., Satovic, Z., y Torres, A.-M. (2008b). Quantitative trait loci of frost tolerance and physiologically related trait in faba bean (*Vicia faba* L.). Euphytica **164**, 93-104.

Badaruddin, M., y Meyer, D. W. (2001). Factors modifying frost tolerance of legume species. *Crop Science* **41**, 1911-1916.

Cyril, J., Powell, G. L., Duncan, R. R., y Baird, W. V. (2002). Changes in membrane polar lipid fatty acids of seashore paspalum in response to low temperature exposure. *Crop Science* **42**, 2031-2037.

Dekhuijzen, H. M., Verkerke, D. R., y Houwers, A., eds. (1981). "Physiological aspects of growth and development of Vicia faba," Vol. 4. *Vicia faba*: Physiology and Breeding.

Duc, G. (1997). Faba bean (*Vicia faba* L). *Field Crops Research* **53**, 99-109.

Duc, G., y Petitjean, F. (1995). Study on the inheritance of freezing tolerance in *Vicia faba* L. . In "AEP (Ed.), Proc. of 2nd Eur. Conf. on Grain Legumes", pp. 130-131.

Ensminger, I., Busch, F., y Huner, N. P. A. (2006). Photostasis and cold acclimation: sensing low temperature through photosynthesis. *Physiologia Plantarum* **126**, 28-44.

España. Orden PRE/135/2011, de 24 de enero, por la que se aprueba la norma específica de peritación de daños en las producciones de guisante verde, judía verde y haba verde, amparados por el seguro agrario combinado. *Boletín Oficial del Estado,*1 de febrero de 2011, **27**, 11059-11068.

Faiguenbaum, H., y Mouat, P. (Consulta: viernes, 22 de marzo de 2013.). Haba. In "http: www7.uc.cl/sw_educ/cultivos/legumino/haba.htm".

FAO (2002). El Cultivo protegido en clima mediterráneo. Fao Inter-Departmental Working Group.

FAOSTAT (2013. Consulta: 5 de febrero de 2013). In "http://faostat3.fao.org/home/index.html#DOWNLOAD" (Food and Agriculture Organization of the United Nations, ed.).

Fernández, A. (2006). "El Sistema Español de Seguros Agrarios," Entidad Estatal de Seguros Agrarios (ENESA). Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino., Madrid, España.

Fukuta, N., y Yukawa, T. (1998). Varietal difference in snow tolerance and growth characteristics of broad bean (*Vicia faba* L.). *Japanese Journal of Crop Science* **67**, 505-509.

Gehriger, W., y Vullioud, P. (1982). Autumn sown *Vicia faba* cultivars. Results of 1976-1981 trials Les varietes de feverole d'automne. Resultats des essais 1976-1981. *Revue Suisse d'Agriculture* **14**, 117-121.

Gutiérrez, M., y Macua, J. I. (2007). Horticultura industrial en el Valle del Ebro (I). *Horticultura* **XXV**, 32-36.

Hernández, M. L. (1994). Tipología, génesis y desarrollo de las heladas en el valle medio del Ebro. *Geographicalia* **31**, 95-114.

Herzog, H. (1987). A quantitative method to assess freezing resistance in faba beans. *Journal of Agronomy and Crop Science-Zeitschrift Fur Acker Und Pflanzenbau* **158**, 195-204.

Herzog, H. (1989a). Freezing resistance and performance of faba bean populations during winter seasons in northern germany. *Journal of Agronomy and Crop Science-Zeitschrift Fur Acker Und Pflanzenbau* **162**, 225-235.

Herzog, H. (1989b). Influence of pre-hardening duration and dehardening temperatures on varietal freezing resistance in faba beans (*Vicia faba* L.). *Agronomie* **9**, 55-61.

Herzog, H., y Olszewski, A. (1998). A rapid method for measuring freezing resistance in crop plants. *Journal of Agronomy and Crop Science-Zeitschrift Fur Acker Und Pflanzenbau* **181**, 71-79.

Inci, N. E., y Toker, C. (2011). Screening and selection of faba beans (*Vicia faba* L.) for cold tolerance and comparison to wild relatives. *Genetic Resources and Crop Evolution* **58**, 1169-1175.

INE (2011. Consulta: 21 de marzo de 2013.). In "www.ine.es" (Instituto Nacional de Estadística [sitio web], ed.). Madrid: INE.

INTIA (2012). Recomendación de nuevas variedades. Instituto Agrario de Tecnologías e Infraestructuras Agroalimentarias, ed., Vol. **230**.

Link, W., Balko, C., y Stoddard, F. L. (2010). Winter hardiness in faba bean: Physiology and breeding. *Field Crops Research* **115**, 287-296.

Liu, Z. S., Zhao, Y. Z., Bao, S. Y., y Guang, W. (1987). Low temperature and faba bean (*Vicia faba* L.) yield. *FABIS newsletter - Faba Bean Information Service* Aug 1987. **18**, 14-17.

Maroto, J. V. (1990). Elementos de horticultura general: especialmente aplicada al cultivo de plantas de consistencia herbácea. Ed. Mundi-Prensa Libros, Madrid.

Maroto, J. V. (2002). Horticultura herbácea especial, 5ª edición. Ed. Mundi-Prensa, Madrid.

Nadal, S., Moreno, M. T., y Cubero, J. I. (2008). Las leguminosas grano en la agricultura moderna. Ediciones Mundi-Prensa, España.

Nilsen, E. T., y Orcutt, D. M. (1996). Physiology of plants under stress. Abiotic factors, John Wiley and Sons, New York.

Pascual, M. J. (1999). Efecto de las heladas tempranas sobre el crecimiento de la coliflor de Otoño-Invierno. UPNA.

Picard, J., Duc, G., y Pelletier, R. (1985). "Cote d'Or", a highly frost resistant population of *Vicia faba*. FABIS Newsletter, Faba Bean Information Service, ICARDA, 11-12.

Sakai, A., y Larcher, W. (1987). "Frost survival of plants. Responses and adaptation to freezing stress," Springer-Verlag, Berlin, Germany.

Samuel, D., Kumar, T. K. S., Jayaraman, G., Yang, P. W., y Yu, C. (1997). Proline is a protein solubilizing solute *Biochemistry and Molecular Biology International* **41**, 235-242.

Snyder, R. L., de Melo-Abreu, J. P., y Matulich, S. (2010). Protección contra las heladas: fundamentos, práctica y economía Vol. **2**. FAO, Roma.

Summerfield, R. J., y Roberts, E. H. (1985). Vicia faba. In "CRC handbook of flowering" (A. H. Halevy, ed.), pp. 155-164. CRC Press, Boca Raton, Florida.

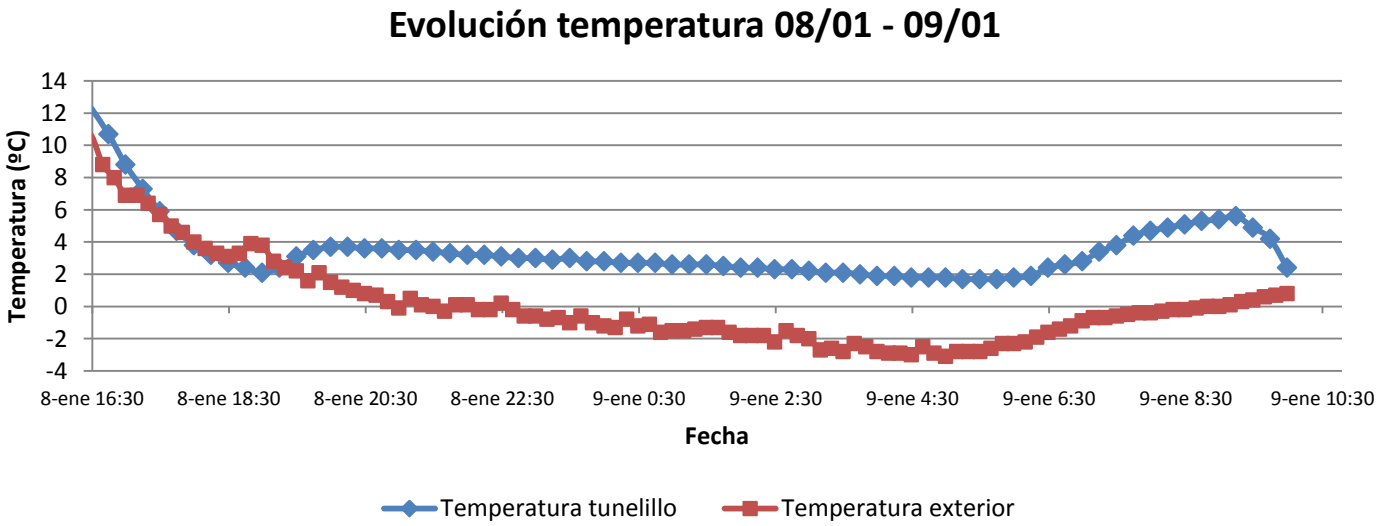
Thomashow, M. F. (1998). Role of cold-responsive genes in plant freezing tolerance. *Plant Physiology* **118**, 1-7.

Thomashow, M. F. (2001). So what's new in the field of plant cold acclimation? Lots! *Plant Physiology* **125**, 89-93.

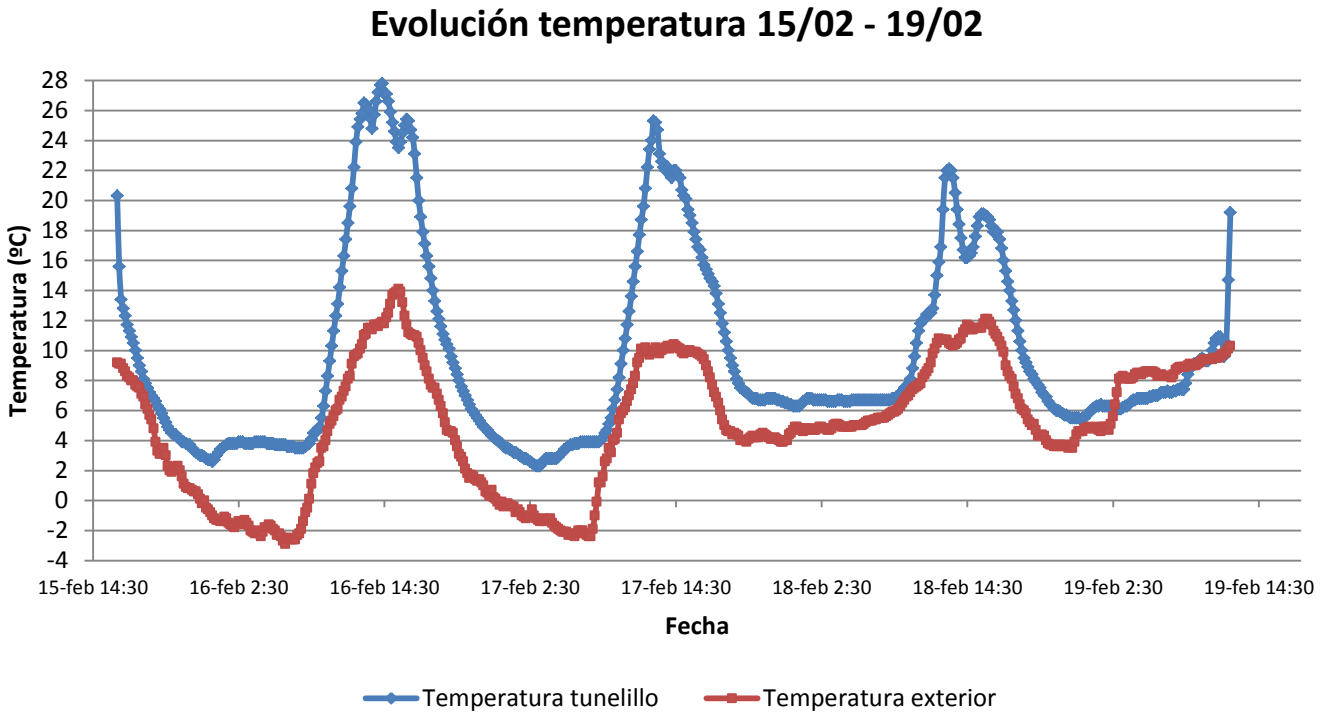
ANEXO A1. TEMPERATURAS REGISTRADAS EN EL TUNELILLO CON SISTEMA DE CALEFACCIÓN

Evolución de la temperatura dentro del tunelillo y en el exterior (Datos de la Estación Meteorológica de la UPNA, ETSIA) en un día de previsión de heladas, con el plástico del tunelillo puesto y con el sistema de calefacción activo.

EJEMPLO A1.1



EJEMPLO A1.2

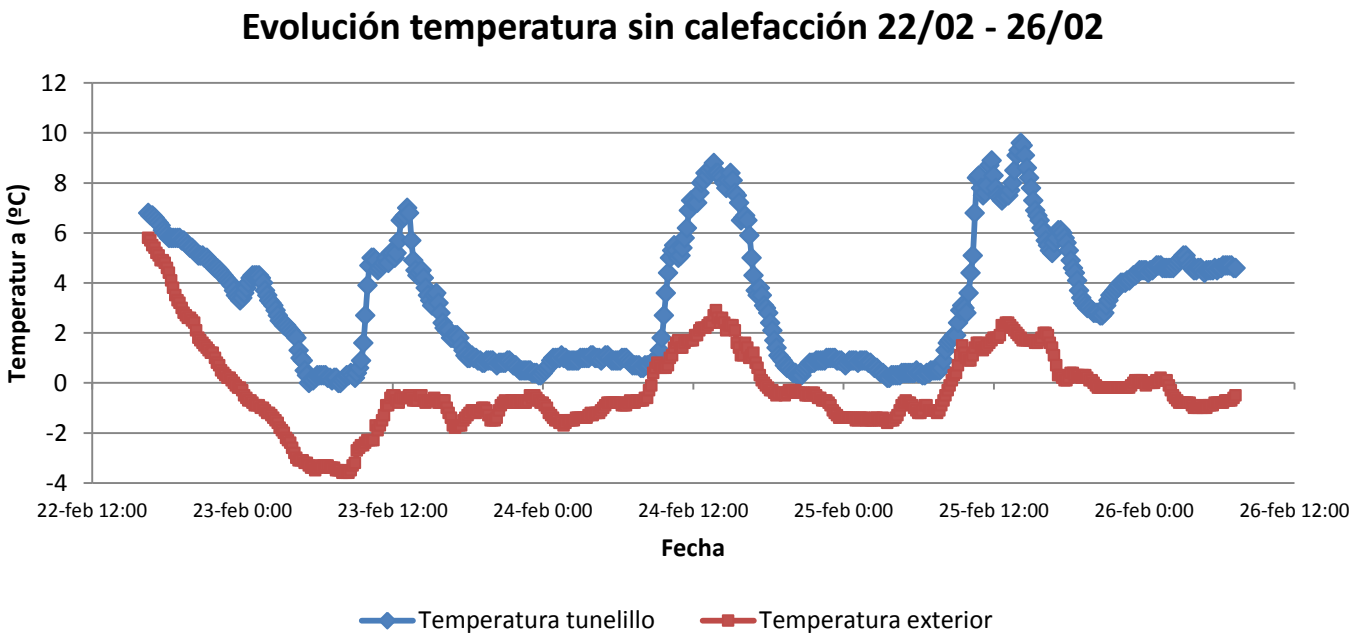


ANEXO A2. TEMPERATURAS REGISTRADAS EN EL TUNELILLO SIN SISTEMA DE CALEFACCIÓN

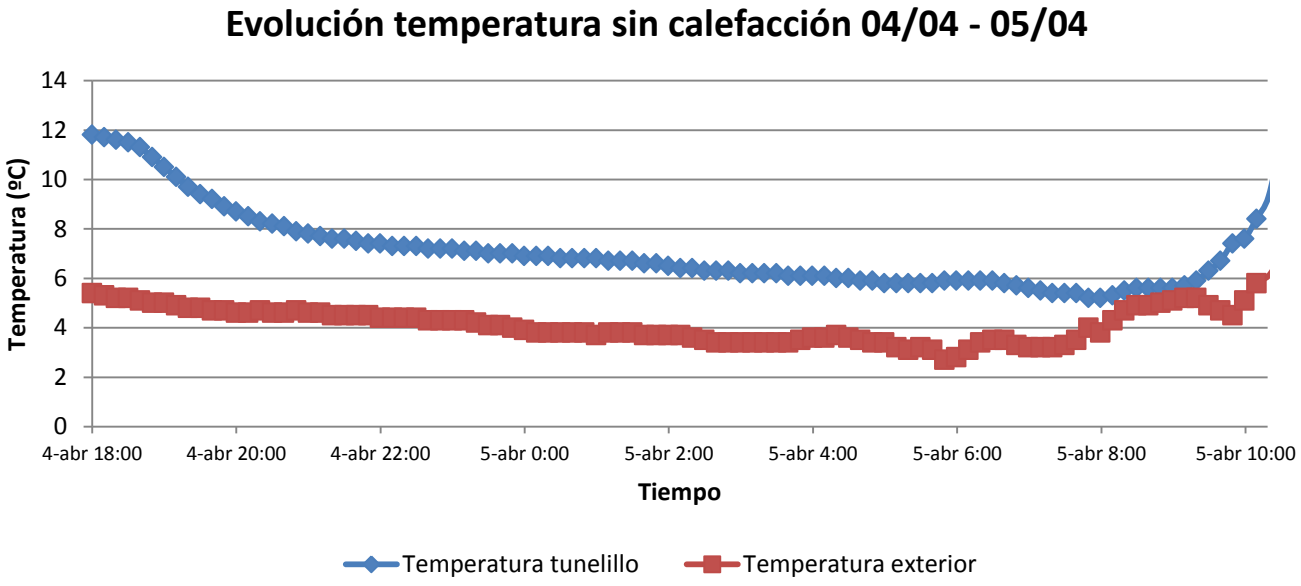
Evolución de la temperatura dentro del tunelillo y en el exterior (Datos de la Estación Meteorológica de la UPNA, ETSIA) en un día de previsión de heladas, con el plástico del tunelillo puesto pero sin el sistema de calefacción en funcionamiento.

FIGURAS

EJEMPLO A2.1



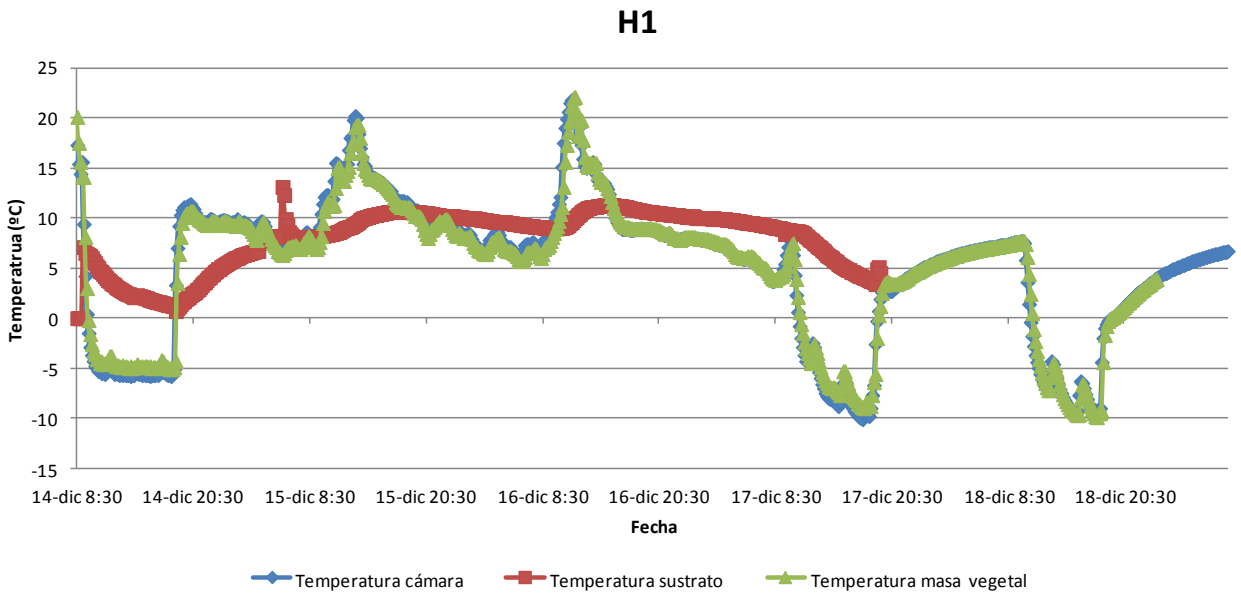
EJEMPLO A2.2



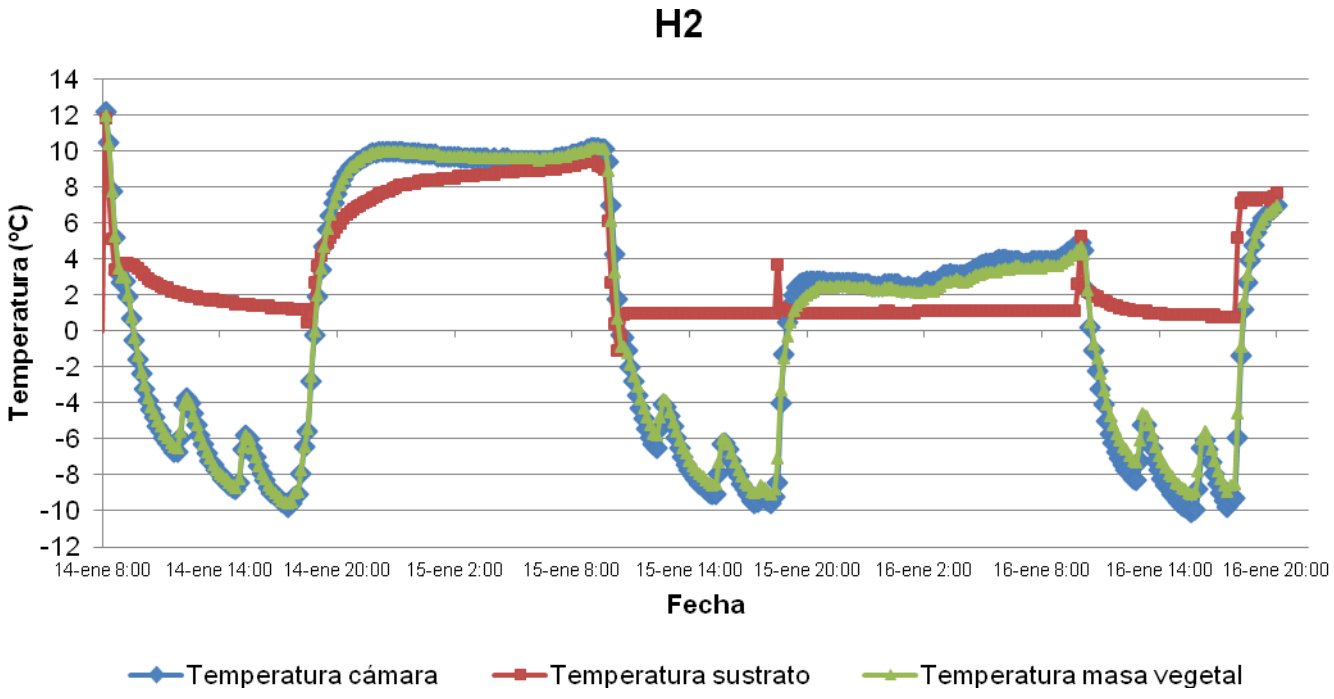
ANEXO A3. TEMPERATURAS REGISTRADAS DURANTE LA APLICACIÓN DE HELADAS

Heladas de invierno

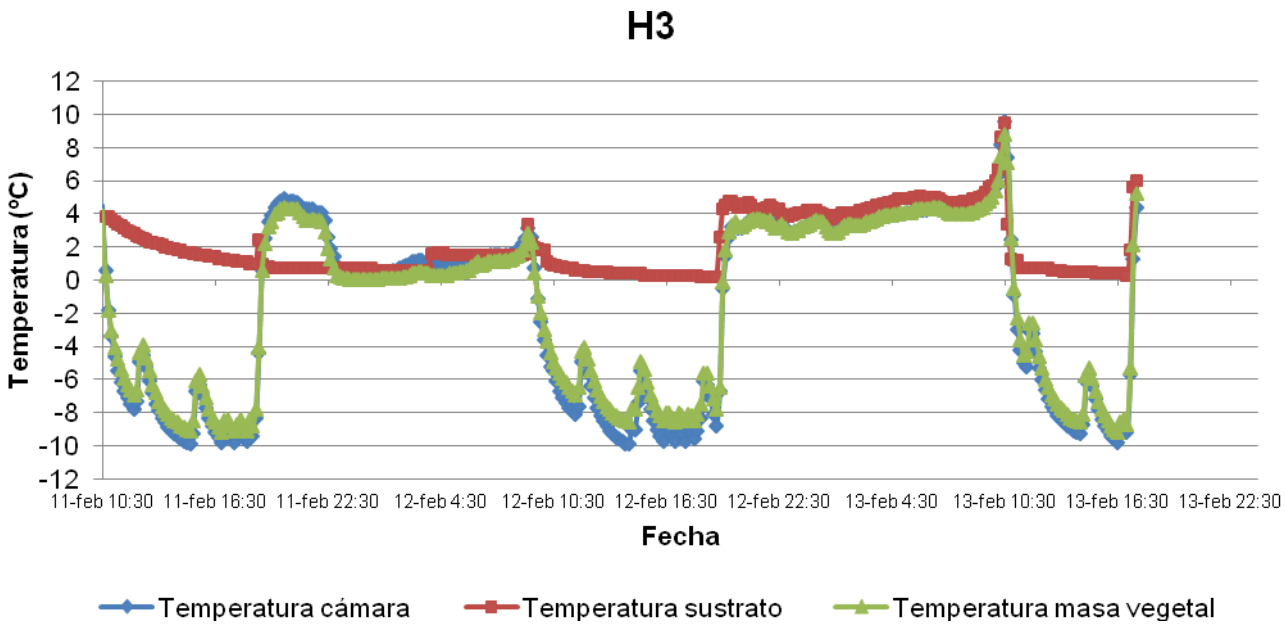
HELADA DE INVIERNO 1: H1



HELADA DE INVIERNO 2: H2

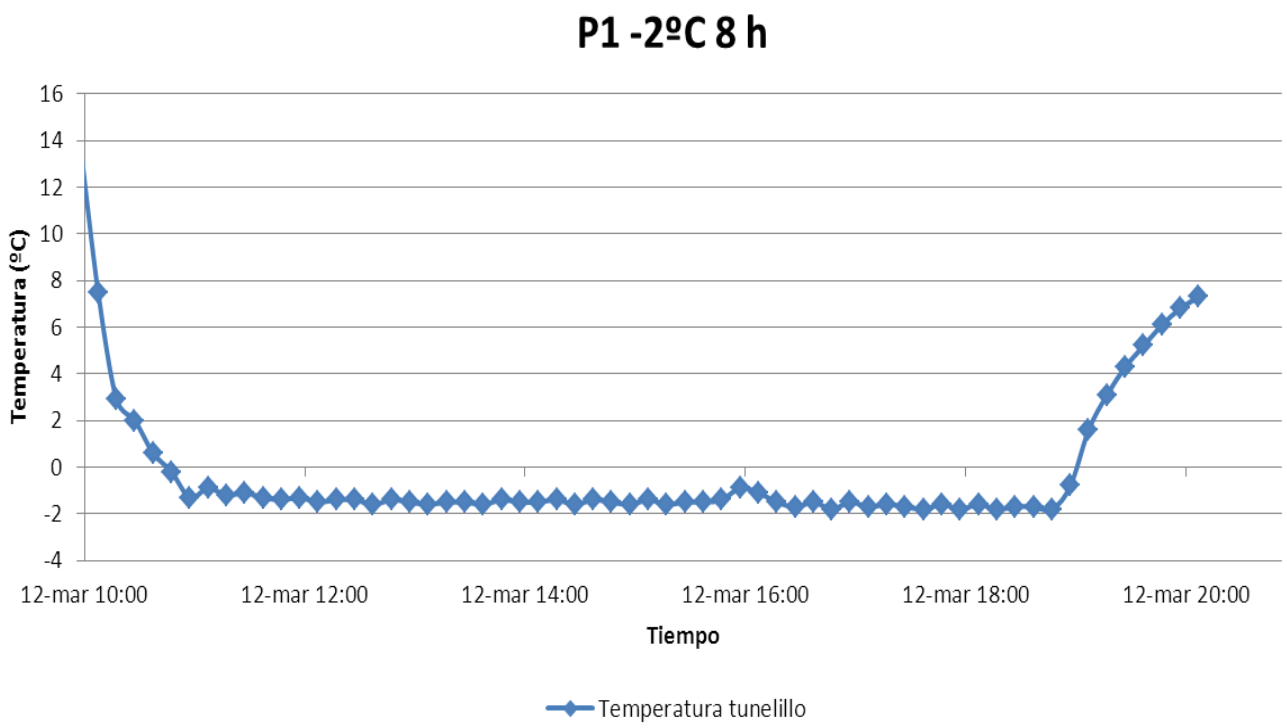


HELADA DE INVIERNO 3: H3

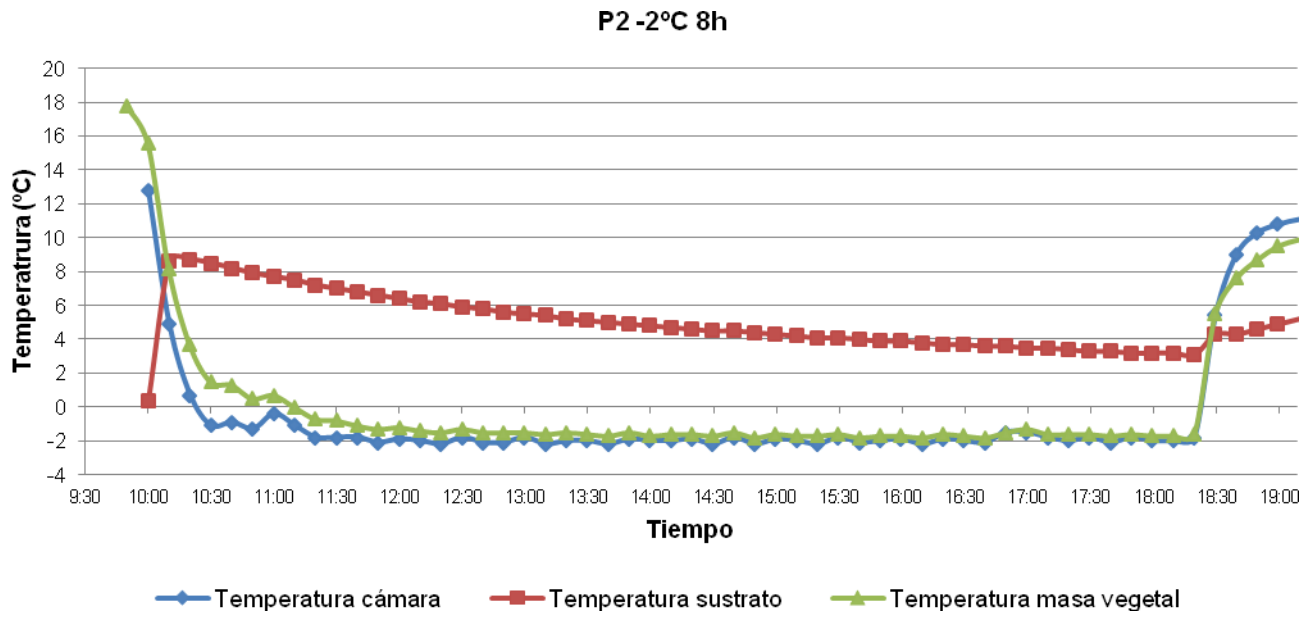


HELADAS DE PRIMAVERA A -2ºC

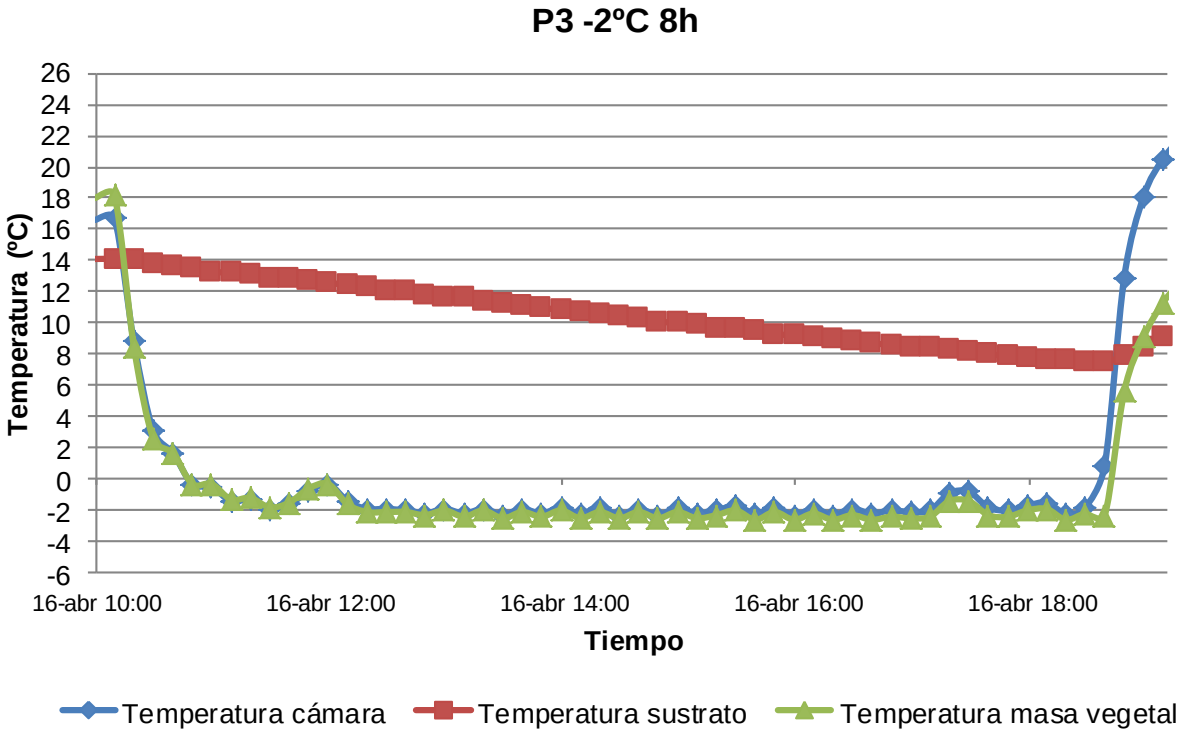
HELADA DE PRIMAVERA 1: HP1 -2ºC



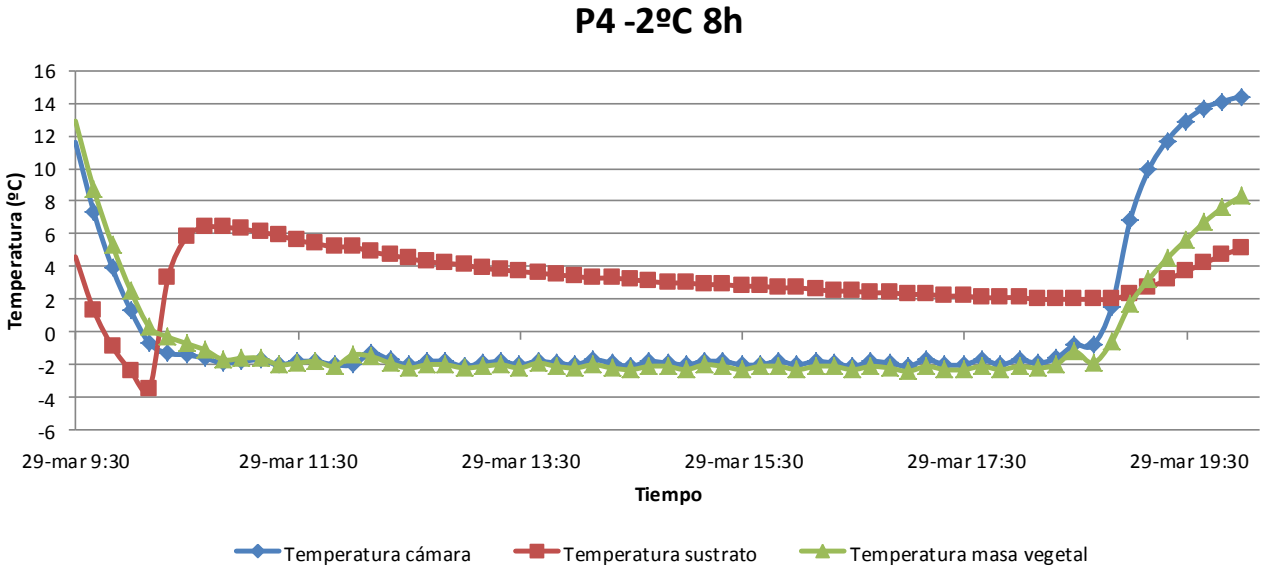
HELADA DE PRIMAVERA 2: HP2 -2ºC



HELADA DE PRIMAVERA 3: HP3 -2ºC

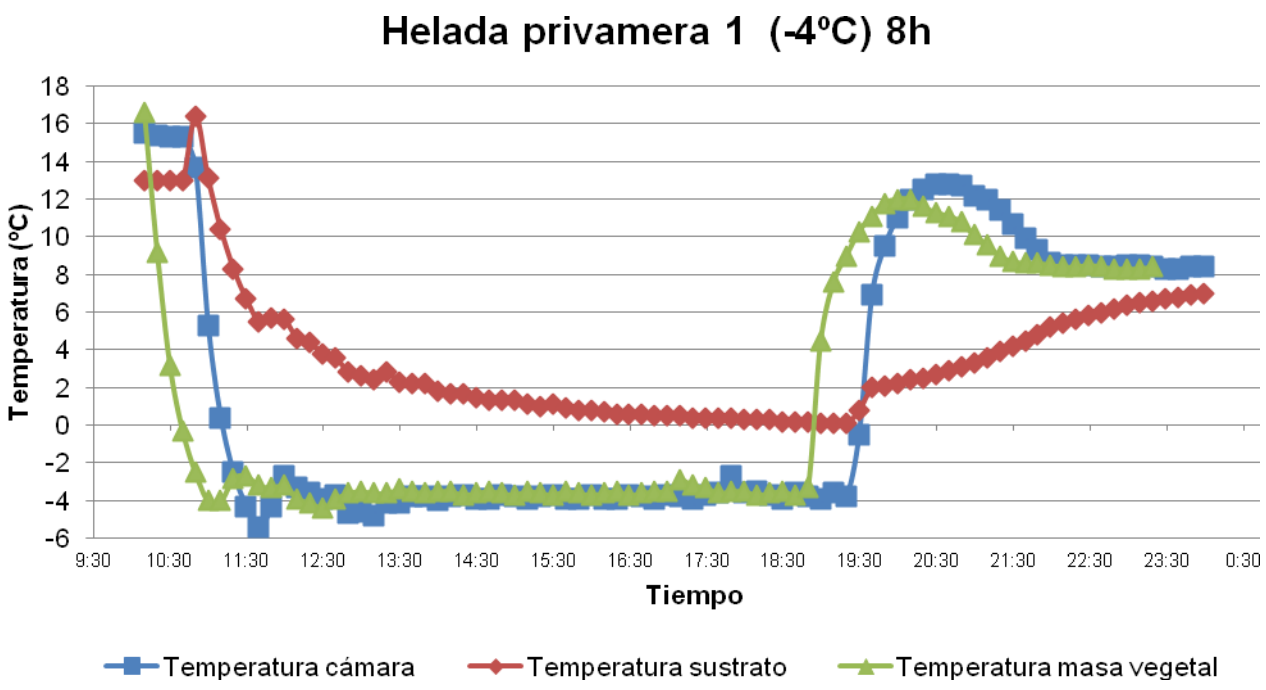


HELADA DE PRIMAVERA 4: HP4 -2ºC

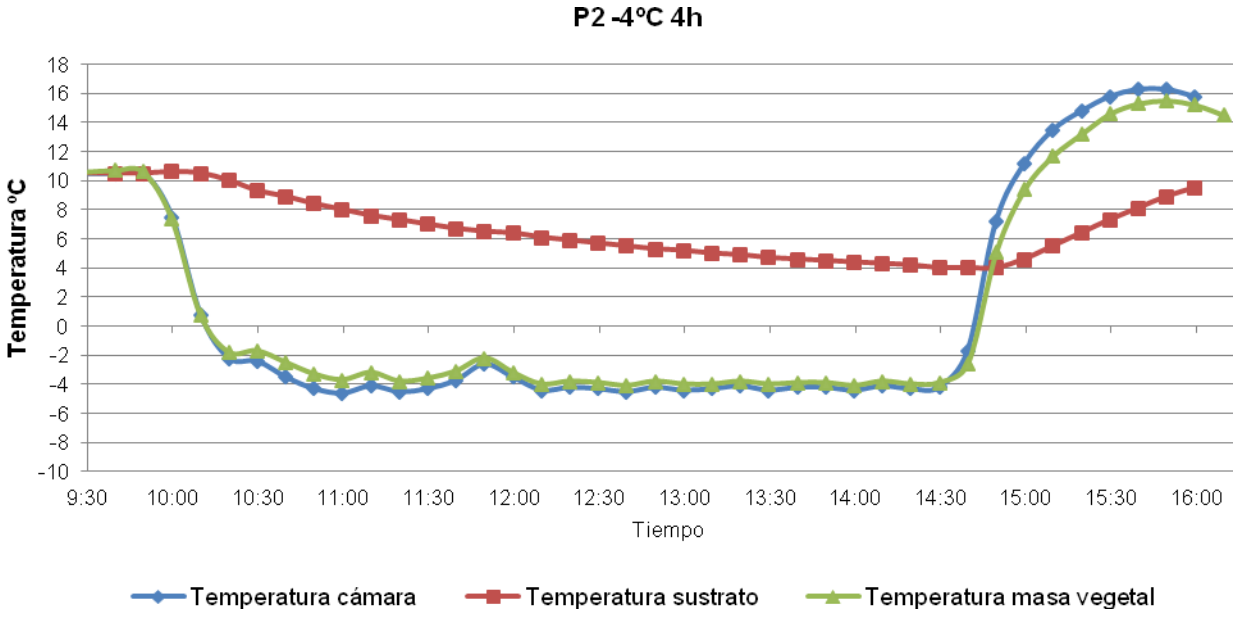


HELADAS DE PRIMAVERA A -4ºC

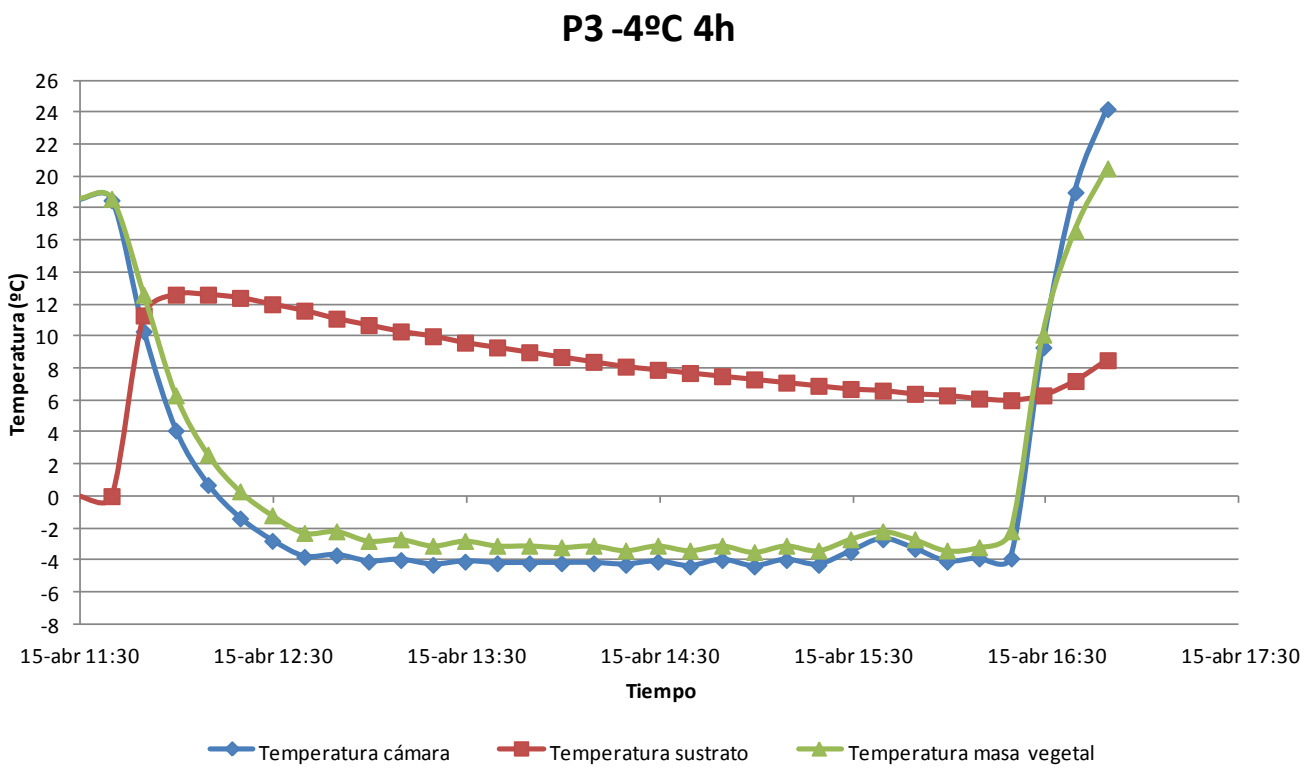
HELADA DE PRIMAVERA 1: HP1 -4ºC



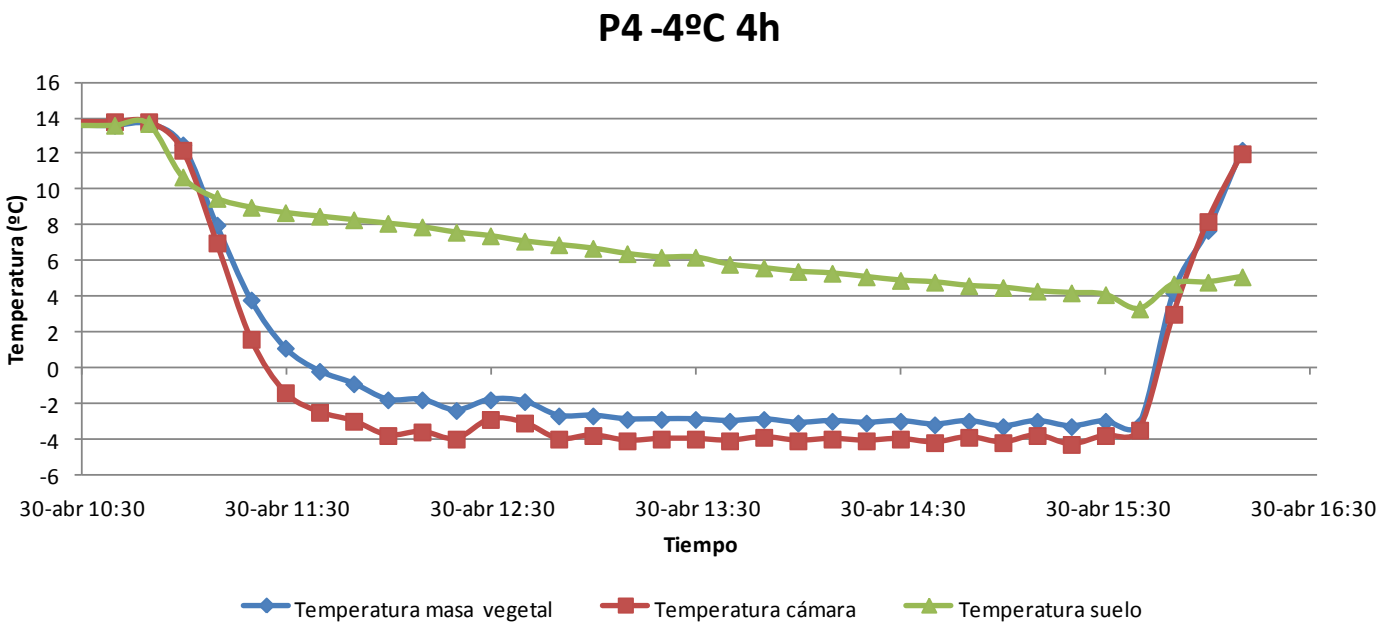
HELADA DE PRIMAVERA 2: HP2 -4ºC



HELADA DE PRIMAVERA 3: HP3 -4ºC



HELADA DE PRIMAVERA 4: HP4 -4ºC



ANEXO A4. ESTADILLOS DE RECOLECCIÓN

PRODUCCIÓN TESTIGOS

Fecha: 17-may

Plantas	Maceta	Planta	Nº de tallos con fruto	Piso inserción primer fruto	Nº de vainas/planta	Peso vainas	Peso granos	<12	12-14	14-16	16-19	>19	Observaciones
1	1	a	6	7	10	190	29	4	6	14	5	0	
2		b	3	5	8	133	25	10	14	1	0	0	
3		c	4	4	15	242	48	4	11	15	8	0	
4	2	a	4	4	8	171	44	4	19	11	10	0	
5		b	5	5	12	244	67	6	30	13	18	0	
6		c	4	6	11	183	25	4	6	12	3	0	
7	3	a	5	6	15	235	31	2	28	7	4	0	3 vainas podridas
8		b	5	5	9	181	33	5	7	13	5	2	
9		c	6	6	10	197	45	6	19	15	5	0	
10	4	a	5	5	10	213	30	5	6	8	11	0	
11	5	a	10	5	14	359	84	6	31	32	8	7	
12		b	5	5	8	139	13	4	5	4	0	0	5 vainas podridas
13	6	a	3	9	8	130	24	6	12	4	0	0	
14		c	4	7	18	189	14	8	4	2	0	0	
15	7	a	3	5	8	146	20	16	4	0	0	0	
16		b	5	7	16	194	30	24	4	2	0	0	
17		c	4	9	9	180	26	4	11	9	1	1	
18	8	a	7	9	14	195	18	0	7	9	2	0	11 vainas podridas
19		b	5	6	9	123	12	0	6	3	3	0	5 vainas podridas
20		c	4	5	6	89	24	2	10	12	1	1	
				total	218	3733	642	120	240	186	84	11	
			4,85	Media por planta	10,9	186,65	32,1	6	12	9,3	4,2	0,6	
				%			100	19	37	29	13	2	
		ES	0,36	0,35	0,74	12,90	4,04	1,23	1,98	1,63	1,07	0,36	

%Mortandad

0

% Habas baby

56,2

PRODUCCIÓN HELADA DE INVIERNO 1

Fecha: 10-jun Nº plantas total: 24

Plantas	Maceta	Planta	Nº de tallos con fruto	Piso inserción primer fruto	Nº de vainas/planta	Peso vainas	Peso granos	<12	12-14	14-16	16-19	>19	Observaciones
1	1	a	4	5	11	187	47	14	26	7	0	0	
2		b	2	8	5	106	28	6	22	0	0	0	
3		c	2	5	6	140	29	10	18	0	0	0	
4	2	a	3	4	8	201	58	0	43	14	0	0	
5		b	3	5	11	267	75	4	70	0	0	0	
6	3	a	3	7	5	132	46	1	43	3	0	0	
7		b	4	4	6	149	50	0	50	0	0	0	
8		c	2	5	5	119	39	3	36	0	0	0	
9	4	a	1	5	3	63	24	0	24	0	0	0	
10		b	2	6	4	99	34	1	30	3	0	0	
11		c	3	5	5	121	36	0	30	5	0	0	
12	5	a	4	6	8	150	40	8	33	0	0	0	
13		b	5	6	14	316	74	11	60	3	0	0	
14		c	2	5	6	149	36	0	20	16	0	0	
15	6	a	1	5	1	40	11	0	50	6	0	0	
16		b	5	8	13	228	47	23	24	0	0	0	
17		b	1	6	5	85	30	0	30	0	0	0	
18		c	1	7	4	101	75	5	30	0	0	0	
19	8	a	4	5	12	276	82	8	74	0	0	0	
20		b	1	5	4	89	27	2	9	14	0	0	
21		c	5	7	13	344	78	4	71	3	0	0	
			2,8	total	149	3362	966	100	793	74	0	0	
		VIVAS		Media por planta	7	160	46	5	38	4	0	0	
		TOTAL		Media por planta	6	140	40	4	33	3	0	0	
				%			100	10	82	8	0	0	
	ES		0,31	0,25	0,82	18,22	4,45	1,30	4,04	1,13	0	0	
		% Mortandad		% habas baby									
			12,5	92									

Observaciones

*Se recolectó antes de tiempo (92% habas baby)

*La producción supera a los testigos

*La sanidad del cultivo es mejor que los testigos. No hay vainas afectadas.

PRODUCCIÓN HELADA DE INVIERNO 2

Fecha: 10-jun Nº plantas total: 24

Plantas	Maceta	Planta	Nº de tallos con fruto	Piso inserción primer fruto	Nº de vainas/planta	Peso vainas	Peso granos	<12	12-14	14-16	16-19	>19	Observaciones
1	1	a	1	5	Vacías	0							
2		b	4	5	8	178	43	1	30	12	0	0	
3		c	2	6	6	124	30	2	12	16	0	0	1 tallo con pulgón
4	2	a	5	5	13	247	73	16	57	0	0	0	
5		b	1	4	1	12	4	0	4	0	0	0	2 tallos con pulgón
6	3	a	3	4	4	123	35	14	19	0	0	0	
7		b	2	4	6	81	8	7	2	0	0	0	1 vacía
8		c	4	5	11	215	63	9	54	0	0	0	
9	4	a	6	4	16	350	105	5	100	0	0	0	
10		b	1	2	2	48	14	0	14	0	0	0	
11		c	1	4	1	22	4	0	4	0	0	0	
12	5	a	3	5	7	157	54	4	40	10	0	0	
13		b	4	3	14	275	80	2	78	0	0	0	
14		c	3	7	5	108	25	6	19	0	0	0	3 tallos con pulgón
15	6	a	3	8	6	178	36	4	32	0	0	0	2 tallos con pulgón
16		c	5	6	14	426	111	12	99	0	0	0	
17	7	a	4	4	10	263	74	4	52	16	0	0	
18		b	3	5	7	181	57	3	49	5	0	0	
19		c	5	5	8	258	77	0	38	38	0	0	
20	8	a	7	5	13	368	131	0	89	42	0	0	
21		b	1	5	3	52	12	8	4	0	0	0	
22		c	2	6	3	62	16	3	13	0	0	0	1 vaina con ascochita
			3,2	total	158	3728	1052	100	809	139	0	0	
		VIVAS		Media por planta	7	169	48	5	37	6	0	0	
		TOTAL		Media por planta	7	155	44	4	34	6	0	0	
				%			100	10	77	13	0	0	
	ES		0,37	0,27	1,00	25,01	8,12	1,03	6,93	2,70	0	0	

% Mortandad 8,33

% habas baby 87

Observaciones

*Se recolectó antes de tiempo (87% habas baby)

*La producción supera a los testigos y a H1

*La sanidad del cultivo es algo mejor que los testigos.

PRODUCCIÓN HELADA DE INVIERNO 3

Fecha: 20-jun

Nº plantas total: 24

0

Plantas	Maceta	Planta	Nº de tallos con fruto	Piso inserción primer fruto	Nº de vainas/planta	Peso vainas	Peso granos	<12	12-14	14-16	16-19	>19	Observaciones
1	1	b	4	1	1	26	6	1	5	0	0	0	
2	2	b	4	3	6	152	17	17	0	0	0	0	
3		c	7	2	2	41	5	0	5	0	0	0	
4	3	a	4	2	7	163	60	1	37	22	0	0	2 tallos con pulgon
5		b	3	3	8	108	26	5	18	3	0	0	
6		c	5	1	3	66	26	2	24	0	0	0	
7	4	a	4	2	4	91	31	0	9	22	0	0	
8		b	3	2	6	133	47	0	28	19	0	0	
9		c	4	1	2	20	8	8	0	0	0	0	
10	5	b	3	2	6	102	38	0	12	26	0	0	1 tallo con pulgon
11		c	5	2	7	141	62	0	53	9	0	0	
12	6	a	4	1	2	34	13	1	12	0	0	0	
13		c	4	1	2	51	22	0	19	3	0	0	
14	7	a	2	2	8	131	52	0	52	0	0	0	
15	8	b	4	2	2	30	11	4	7	0	0	0	
16		c	3	2	4	58	19	1	12	6	0	0	
			3,9	total	70	1347	443	40	293	110	0	0	
			VIVAS	Media por planta	4	84	28	3	18	7	0	0	
			TOTAL	Media por planta	3	56	18	2	12	5	0	0	
				%			100	9	66	25	0	0	
		ES	0,28	0,16	0,61	12,33	4,74	1,12	4,17	2,40	0	0	

% Mortandad: 33,3

% habas baby: 75

Observaciones

*Se recolectó en su tiempo (92% habas baby)

*La producción es **netamente** inferior a los testigos.

*La sanidad del cultivo es algo mejor que los testigos.

PRODUCCIÓN HELADA DE PRIMAVERA 1 -2ºC

Fecha: 17-may Nº plantas total: 24

Plantas	Maceta	Planta	Nº de tallos con fruto	Piso inserción primer fruto	Nº de vainas/planta	Peso vainas	Peso granos	<12	12-14	14-16	16-19	>19	Observaciones
1	1	a	5	8	9	151	21	6	10	5	0	0	
2		b	3	5	6	99	17	12	5	0	0	0	
3		c	3	6	6	81	15	13	2	0	0	0	
4	2	a	2	7	3	69	2	2	0	0	0	0	
5		b	3	6	4	56	3	2	1	0	0	0	
6	3	a	4	5	7	154	16	8	8	0	0	0	
7		b	2	6	3	90	21	0	9	12	0	0	
8		c	3	8	5	72	13	8	5	0	0	0	
9	4	a	3	8	7	155	27	9	7	11	0	0	
10		b	5	5	7	106	13	7	6	0	0	0	
11		c	3	6	5	91	6	4	2	0	0	0	
12	5	c	3	5	4	72	18	4	13	1	0	0	
13	6	a	1	6	1	13	3	0	3	0	0	0	
14		b	4	7	3	36	3	2	1	0	0	0	
15		c	3	9	4	58	12	5	7	0	0	0	
16	7	a	4	6	2	335	73	4	20	39	10	0	
17		b	1	6	1	26	6	0	2	4	0	0	
18		c	2	9	5	140	42	2	32	8	3	0	
19		b	3	6	4	81	17	1	2	14	0	0	
21		c	3	7	8	197	47	6	38	3	0	0	
			3,0	total	94	2082	375	95	173	97	13	0	
		VIVAS		Media por planta	4	99	18	5	8	5	1	0	
		TOTAL		Media por planta	4	87	16	4	7	4	1	0	
				%			100	25	46	25	3	0	
	ES		0,24	0,29	0,50	16,12	3,92	0,86	2,29	2,07	0,51	0	

% Mortandad	% habas baby
12,5	71

Observaciones

*Se recolectó en su tiempo (92% habas baby)

*La producción es **netamente** inferior a los testigos.

*La sanidad del cultivo es algo mejor que los testigos.

HELADA DE PRIMAVERA 2 -2ºC

Fecha: 17-may Nº plantas total: 24

Plantas	Maceta	Planta	Nº de tallos con fruto	Piso inserción primer fruto	Nº de vainas/planta	Peso vainas	Peso granos	<12	12-14	14-16	16-19	>19	Observaciones
1	1	a	5	8	8	190	38	0	12	12	9	0	
2		b	5	6	8	163	33	2	9	9	13	0	
3	2	b	3	8	4	55	3	2	1	0	0	0	
4	3	a	3	7	6	148	39	4	7	17	11	0	
5		b	3	7	12	206	43	8	15	10	8	2	
6		c	3	9	6	87	20	0	6	9	5	0	
7	4	a	2	7	6	94	21	2	12	1	6	0	
8		b	1	8	1	14	2	0	2	0	0	0	
9		c	4	8	5	128	31	0	12	12	0	7	
10	5	a	3	7	6	156	38	0	4	18	16	0	
11		b	4	8	4	63	15	12	3	0	0	0	
12		c	3	7	3	36	4	3	0	0	0	0	
13	6	a	4	8	17	160	40	7	13	16	4	0	
14		b	5	5	7	177	39	3	21	6	5	4	
15		c	3	7	8	127	17	8	9	0	0	0	
16	7	a	6	7	5	67	5	0	5	0	0	0	4 vainas podridas
17		b	3	10	4	37	7	7	0	0	0	0	
18		c	2	5	10	108	6	1	5	0	0	0	5 vainas podridas
19	8	a	5	7	8	110	18	1	8	6	3	0	
20		b	2	8	4	42	11	4	6	1	0	0	1 vaina mal
21		c	3	5	6	64	8	1	4	3	0	0	
			3,4	total	138	2232	438	65	154	120	80	13	
		VIVAS		Media por planta	7	106	21	3	7	6	4	1	
		TOTAL		Media por planta	6	93	18	3	6	5	3	1	
				%			100	16	35	27	18	3	
	ES		0,27	0,28	0,75	12,34	3,20	0,75	1,18	1,39	1,09	0,38	

% Mortandad	% habas baby
12,5	51

Observaciones

*Se recolectó un poco pasadas (51% habas baby)

*La producción es **inferior** a los testigos.

*La sanidad del cultivo es mejor que los testigos.

HELADA DE PRIMAVERA 3 -2ºC

Fecha: 17-may Nº plantas total: 24

Plantas	Maceta	Planta	Nº de tallos con fruto	Piso inserción primer fruto	Nº de vainas/planta	Peso vainas	Peso granos	<12	12-14	14-16	16-19	>19	Observaciones
1	1	a	3	6	12	88	7	7	0	0	0	0	
2		b	3	6	5	76	13	1	7	3	2	0	
3		c	2	9	4	49	14	4	2	3	5	0	
4	2	a	2	6	3	27	4	4	0	0	0	0	
5		b	3	5	5	98	20	0	15	5	0	0	
6		c	4	7	13	159	17	11	5	1	0	0	
7	3	b	1	7	1	10	0	0	0	0	0	0	Sin granos, aunque sí vainas
8		c	1	8	1	13	3	3	0	0	0	0	
9	4	a	2	9	4	82	21	5	7	5	3	0	
10		b	3	7	11	118	24	12	11	1	0	0	
11		c	5	9	6	102	25	5	4	8	8	0	
12	5	a	3	6	10	161	35	13	13	7	2	0	
13		b	2	7	3	80	17	0	12	2	3	0	
14		c	2	7	4	49	5	5	0	0	0	0	
15	6	a	4	7	8	157	26	1	6	13	7	0	
16		b	3	8	5	87	21	4	9	9	0	0	
17		c	4	9	7	91	18	2	6	7	2	0	
18	7	a	2	8	4	51	4	2	0	2	0	0	
19		b	3	12	7	67	12	8	4	0	0	0	
20		c	4	9	7	113	16	1	10	1	2	2	
21	8	a	5	7	12	185	27	3	6	13	5	0	
22		b	1	7	2	29	5	5	0	0	0	0	
23		c	2	7	0	0	0	0	0	0	0	0	Muchas vainas no comerciales
			2,8	total	134	1892	334	96	117	80	39	2	
		VIVAS		Media por planta	6	82	15	4	5	3	2	0	
		TOTAL		Media por planta	6	79	14	4	5	3	2	0	
				%			100	29	35	24	12	1	
	ES		0,24	0,31	0,78	10,65	2,02	0,80	1,01	0,87	0,51	0,09	
		% Mortandad		% habas baby									
			4,17	64									

Observaciones

*Se recolectó en su momento (64% habas baby)

*La producción es **inferior** a los testigos. *La sanidad del cultivo es mejor que los testigos.

HELADA DE PRIMAVERA 4 -2ºC

Fecha: 17-may

Nº plantas total: 24

Plantas	Maceta	Planta	Nº de tallos con fruto	Piso inserción primer fruto	Nº de vainas/planta	Peso vainas	Peso granos	<12	12-14	14-16	16-19	>19	Observaciones
1	1	a	2	8	5	87	14	1	13	0	0	0	
2		b	2	5	6	79	14	8	6	0	0	0	
3		c	7	6	12	372	67	8	26	27	6	0	1 con Ascochita
4	2	a	4	9	7	119	19	2	17	0	0	0	
5		b	2	7	4	86	23	3	20	0	0	0	1 con granos secos
6	3	a	1	7	2	31	1	1	0	0	0	0	
7		b	5	10	7	138	25	16	9	0	0	0	
8		c	2	6	6	125	20	5	7	8	0	0	
9	4	a	1	7	1	11	1	1	0	0	0	0	
10		b	2	9	4	94	15	3	9	4	0	0	
11	5	a	1	8	5	92	17	3	8	6	0	0	
12		b	1	7	1	15	3	2	1	0	0	0	
13		c	6	7	11	224	46	3	37	3	0	0	
14		b	2	5	4	63	15	5	10	0	0	0	
15		c	4	7	8	164	18	6	12	0	0	0	
16	7	a	4	7	7	160	35	6	18	8	3	0	
17		c	4	6	7	155	33	3	21	9	0	0	
18	8	a	3	7	7	202	46	3	37	0	6	0	
19		b	3	11	7	153	25	0	25	0	0	0	
20		c	5	6	8	191	32	4	7	15	6	0	
			3,05	total	119	2561	469	83	283	80	21	0	
		VIVAS		Media por planta	6	128	23	4	14	4	1	0	
		TOTAL		Media por planta	5	107	20	3	12	3	1	0	
				%			100	18	60	17	4	0	
	ES		0,39	0,35	0,64	18,53	3,65	0,80	2,44	1,54	0,50	0	

% Mortandad	% habas baby
16,67	78

Observaciones

*Se recolectó en su momento (78% habas baby)

*La producción es **inferior** a los testigos.

*La sanidad del cultivo es mejor que los testigos.

HELADA DE PRIMAVERA 1 -4ºC

Fecha: 21-jun Nº plantas total: 24

Plantas	Maceta	Planta	Nº de tallos con fruto	Piso inserción primer fruto	Nº de vainas/planta	Peso vainas	Peso granos	<12	12-14	14-16	16-19	>19	Observaciones
1	2	a	2	3	3	31	12	10	2	0	0	0	
2		b	2	4	3	79	31	0	13	18	0	0	
3		c	2	5	3	74	29	2	21	6	0	0	
4	3	a	4	4	7	103	33	4	29	0	0	0	
5		b	4	3	8	136	50	6	35	9	0	0	
6		c	3	2	7	175	54	0	38	17	0	0	
7	4	a	3	4	4	77	33	0	28	5	0	0	
8		b	2	5	3	51	0	0	0	0	0	0	Mal todos los granos
9		c	6	4	17	257	108	9	98	0	0	0	
10	6	a	1	4	2	58	19	0	7	12	0	0	
11		b	3	4	7	217	80	0	28	37	16	0	
12	7	a	3	3	4	50	17	0	17	0	0	0	
13	8	a	3	3	7	121	34	0	6	27	0	0	
			2,9	total	75	1429	500	31	322	131	16	0	
				total sin erráticos	58	1172	392	22	224	131	16	0	
		VIVAS		Media por planta	5	98	33	2	19	11	1	0	
		TOTAL		Media por planta	2	49	16	1	9	5	1	0	
				%			100	6	57	33	4	0	
	ES		0,35	0,24	1,10	19,20	8,08	1,02	7,02	3,28	1,23	0	

% Mortandad 45,83

% habas baby 62,60

Observaciones

*Se recolectó en su tiempo (50% habas baby)

*La producción es **netamente** inferior a los testigos.

*La sanidad del cultivo es algo mejor que los testigos.

Errática

HELADA DE PRIMAVERA 2 -4ºC

Fecha: 25-jun Nº plantas total: 24

Plantas	Maceta	Planta	Nº de tallos con fruto	Piso inserción primer fruto	Nº de vainas/planta	Peso vainas	Peso granos	<12	12-14	14-16	16-19	Observaciones
1	1	a	4	5	8	155	63	2	21	40	0	
2		b	2	6	9	105	62	3	54	5	0	Sólo hay vainas de los tallos helados y viejos
3		c	2	4	4	69	28	6	22	0	0	
4	2	a	3	4	8	125	47	12	35	0	0	
5		b	4	4	6	82	57	4	53	0	0	
6		c	3	6	4	50	31	7	24	0	0	Sólo hay vainas de los tallos helados y viejos
7	3	a	2	2	3	38	9	0	9	0	0	El estadío reproductivo se encuentra en las tres fases: floración en el primer y segundo piso, vainas recién cuajadas en el tercero, cuarto y quinto y vainas para recolección en los tallos más viejos y helados.
8												
9		b	4	7	11	124	76	23	44	9	0	Muchas vainas proceden de los tallos viejos y helados, están más secas.
10	4	a	5	3	12	176	62	0	57	5	0	
11		c	3	3	4	53	21	10	11	0	0	
12	5	a	2	3	5	105	24	0	7	17	0	
13	6	a	1	6	1	11	3	3	0	0	0	
14		b	3	4	6	77	35	5	30	0	0	
15		c	3	4	5	47	14	2	12	0	0	
16	7	a	3	5	10	151	58	4	42	12	0	
17		c	3	2	4	20	7	5	2	0	0	
18	8	b	3	5	7	108	47	1	43	3	0	
			2,9	total	107	1496	644	87	466	91	0	
			VIVAS	Media por planta	6	83	36	5	26	5	0	
			TOTAL	Media por planta	4	62	27	4	19	4	0	
				%			100	14	72	14	0	
		ES	0,23	0,35	0,73	11,78	5,55	1,39	4,61	2,49	0	

% Mortandad	% habas baby
25	86

Observaciones

*Se recolectó algo pronto (85,8% habas baby)

*La producción es **similar** a los testigos.

HELADA DE PRIMAVERA 3 -4ºC

Fecha: 05-jul Nº plantas total: 24

Plantas	Maceta	Planta	Nº de tallos con fruto	Piso inserción primer fruto	Nº de vainas/planta	Peso vainas	Peso granos	<12	12-14	14-16	16-19	>19	Observaciones
1	1	a	2	4	2	25	7	0	7	0	0	0	Rebrote
2		b	3	2	3	29	7	3	4	0	0	0	2 rebrote y 1 vieja
3	2	a	1	5	1	8	2	0	2	0	0	0	Rebrote
4		b	1	4	3	33	12	0	12	0	0	0	Rebrote
5	3	c	1	3	1	10	4	0	4	0	0	0	Rebrote
6	4	a	1	5	1	8	2	2	0	0	0	0	Rebrote
7		b	2	4	2	21	6	0	0	6	0	0	1 rebrote y 1 vieja
8	5	a	1	3	2	24	5	1	4	0	0	0	
9	6	a	2	3	2	29	13	6	8	0	0	0	
10	7	a	3	4	4	66	24	0	24	0	0	0	
11		b	3	3	5	71	23	0	11	12	0	0	
12	8	a	3	3	4	47	16	2	14	0	0	0	
13		b	2	4	4	37	15	1	10	4	0	0	
14		c	3	3	5	59	22	1	21	0	0	0	
			2,0	total	30	467	158	16	121	22	0	0	
		VIVAS		Media por planta	2	33	11	1	9	2	0	0	
		TOTAL		Media por planta	1	19	7	1	5	1	0	0	
				%			100	10	77	13	0	0	
	ES		0,23	0,23	0,38	5,51	2,07	0,46	1,96	0,94	0	0	

% Mortandad	% habas baby
41,7	87

Observaciones

*Se recolectó antes de tiempo (87% habas baby)

*La producción es **netamente** inferior a los testigos.

*La sanidad del cultivo es algo mejor que los testigos.

HELADA DE PRIMAVERA 4 -4ºC

Fecha: 29-may Recolección sólo tallos viejos, no hay tallos nuevos. Nº plantas total: 24

Plantas	Maceta	Planta	Nº de tallos con fruto	Piso inserción primer fruto	Nº de vainas/planta	Peso vainas	Peso granos	<12	12-14	14-16	16-19	>19	Observaciones
1	5	b	1	6	4	51	7	1	6	0	0	0	
2	6	a	4	6	6	89	25	3	9	13	0	0	
3		b	4	7	5	59	12	6	6	0	0	0	
4	7	a	3	5	4	60	6	0	6	0	0	0	
5		c	2	5	1	33	9	0	3	6	0	0	
6	8	a	2	7	2	27	3	1	2	0	0	0	
7		b	2	10	2	36	9	0	6	3	0	0	
			2,6	6,6	3,4								
			18	total	24	355	71	11	38	22	0	0	
		VIVAS	2,6	Media por planta	3	51	10	2	5	3	0	0	
		TOTAL	0,75	Media por planta	1	15	3	0	2	1	0	0	
				%			100	15	54	31	0	0	
		ES	0,43	0,65	0,69	8,04	2,69	0,84	0,87	1,86	0	0	

% Mortandad % habas baby

70,8 69

Observaciones

*Se recolectó un poco antes de tiempo (69% habas baby)

*La producción es **netamente** inferior a los testigos.

*La sanidad del cultivo es algo mejor que los testigos.