

**Universidad Pública de Navarra**

*Nafarroako Unibertsitate Publikoa*

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE INGENIEROS AGRÓNOMOS**

*NEKAZARITZAKO INGENIARIEN  
GOI MAILAKO ESKOLA TEKNIKOA*

**SIMULACIÓN DE DAÑOS POR HELADA  
MEDIANTE DEFOLIACIÓN Y CONGELACIÓN  
EN CÁMARA FRIGORÍFICA EN EL CULTIVO  
DE PATATA**

presentado por

**MIRELLA MOLINA GIL** *(e)k*

*aurkeztua*

**Para la obtención del Título:**

**MASTER OFICIAL EN AGROBIOLOGÍA AMBIENTAL**

**SEPTIEMBRE, 2011.**

## **AGRADECIMIENTOS**

El presente Trabajo Fin de Máster es un esfuerzo en el cual, directa o indirectamente, han participado varias personas leyendo, corrigiendo, teniendo paciencia conmigo, dándome ánimo, acompañándome en los momentos de crisis y en los momentos buenos.

Agradezco al Dr. Julio Muro Erreguerena por haber confiado en mí para realización de éste, por la paciencia y por la dirección de este trabajo.

Al Dr. Ignacio Irigoien Iriarte por sus consejos, su permanente disposición y desinteresada ayuda.

Quiero agradecer a Itziar Domeño sus provechosas lecciones aceleradas y la ayuda en la realización del estudio.

Gracias también a mis amigos por su presencia incondicional, amistad y por la generosidad con su tiempo.

A mis padres y a mi hermano por su apoyo, comprensión, constante estímulo, y por enseñarme que la perseverancia y el esfuerzo son el camino para lograr objetivos.

A todos ellos, muchas gracias.

## RESUMEN

El ensayo realizado se llevó a cabo en colaboración con *Agroseguro S.A de Madrid* para la creación de un nuevo seguro basado en los daños producidos por helada en cultivo de patata extra-temprana. La simulación se realizó en la Finca de Prácticas de la ETSIA de la Universidad Pública de Navarra. Así, se realizaron simulaciones de heladas por medio de dos ensayos, uno de los cuales consistió en la simulación de helada introduciendo las plantas en una cámara frigorífica, y el otro, en la simulación de helada mediante defoliación manual de las plantas.

El objetivo de este Trabajo Fin de Máster era observar si existía relación entre los tratamientos helada y defoliación a tijera, así como comprobar de qué manera afectaban dichos tratamientos a la producción total y comercial de patata en función de su estadio fenológico.

Para ello se sometieron a las patatas a temperaturas comprendidas entre 18 y 25°C durante un periodo de dos a tres semanas, de manera que se estimuló su brotación. Una vez ocurrió esto, se plantaron en macetas de 24 litros situadas en un invernadero al aire libre y con riego por goteo.

Tras su emergencia, se sometieron los lotes de plantas a los procesos de helada o defoliación, comenzando en la fase de emergencia (2 hojas presentes) y, después, semanalmente, durante las cinco semanas posteriores a la emergencia. En cada uno de los estadios anteriores, se introdujeron 14 plantas (por helada) en una cámara frigorífica en la que, manipulando el termostato, se produjeron dos tipos de heladas, una fuerte (-4°C un día) y una suave (-1°C al día siguiente). El proceso de enfriamiento duró 24 horas, periodo durante el cual las plantas se encontraban a la temperatura mínima programada durante 5 horas (1 hora de descenso de temperatura y 4 horas de helada) y, posteriormente, 19 horas de ascenso de la temperatura. Después de estos procesos las plantas se volvieron a sacar al aire libre.

En cada uno de los estadios se defoliaron 28 plantas con tijera. Se simuló una helada fuerte, defoliando el 100% de la planta en 14 de ellas, y una helada suave, defoliando el 50% de la planta en otras 14. Necesitando también plantas testigos con las que después se cotejaron los datos obtenidos de los diferentes tratamientos.

Se realizaron controles de todos los tratamientos, el primero 15 días después del tratamiento y, luego, mensualmente.

## ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	5
2. ANTECEDENTES .....	6
2.1. CARACTERÍSTICAS DEL CULTIVO DE PATATA .....	6
2.2. PRODUCCIÓN MUNDIAL Y ESPAÑOLA DE PATATA .....	6
2.3. ESTADIOS FENOLÓGICOS .....	7
2.4. NORMAS DE CALIDAD PARA LA PATATA DE CONSUMO.....	8
2.5. ESTUDIOS SOBRE DAÑOS EN EL CULTIVO DE PATATA .....	10
2.5.1. MÉTODOS DE DEFOLIACIÓN PARA LA SIMULACIÓN DE DAÑOS EN EL CULTIVO DE PATATA .....	10
2.5.2. DEFINICIÓN DE LOS MOMENTOS DE INTERVENCIÓN .....	11
2.5.3. EFECTO DE LOS DIFERENTES DAÑOS EN EL CULTIVO DE PATATA SOBRE LA PRODUCCIÓN .....	12
2.6. SIMULACIÓN DE HELADAS .....	17
3. OBJETIVOS.....	18
4. MATERIAL Y MÉTODOS .....	19
4.1. PARCELA DE ENSAYO .....	19
4.1.1. LOCALIZACIÓN .....	19
4.1.2. SUSTRATO UTILIZADO .....	19
4.1.3. CLIMATOLOGÍA .....	19
4.1.4. MATERIA VEGETAL.....	19
4.1.5. LABORES .....	20
4.1.6. DISEÑO Y METODOLOGÍA DE LOS ENSAYOS.....	20
4.2. METODOLOGÍA DE LA SIMULACIÓN DE HELADAS MEDIANTE CÁMARA FRIGORÍFICA .....	23
4.2.1. ACCIONES REALIZADAS .....	23
4.2.2. MEDICIONES Y CONTROLES .....	24
4.2.2.1. Controles de las plantas testigos en los momentos de intervención. ....	24
4.2.2.2. Control del efecto de las heladas .....	24
4.2.2.3. Recolección .....	24
4.3. METODOLOGÍA DE LA SIMULACIÓN DE HELADAS MEDIANTE DEFOLIACIÓN CON TIJERA.....	24
4.3.1. ACCIONES REALIZADAS .....	24
4.3.2. MEDICIONES Y CONTROLES .....	24
4.3.2.1. Control en los momentos de intervención .....	24
4.3.2.2. Control del efecto de las defoliaciones.....	25
4.3.2.3. Recolección .....	25
4.4. ESTADIOS FENOLÓGICOS DE INTERVENCIÓN .....	25
4.5. CÁLCULO DEL PORCENTAJE DE DEFOLIACIÓN REAL EN EL ENSAYO DE TIJERA .....	25
4.6. CÁLCULO DE LAS CURVAS DE REDUCCIÓN DE PRODUCCIÓN COMERCIAL.....	26
4.7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....	27
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	28
5.1. CONTROLES A LO LARGO DEL CICLO .....	28
5.2. CONTROLES FINALES .....	29
5.2.1. ENSAYO DE SIMULACIÓN MEDIANTE DEFOLIACIÓN CON TIJERA.....	29
5.2.1.1. Defoliación real aplicada.....	31

5.2.2. ENSAYO DE SIMULACIÓN MEDIANTE CONGELACIÓN EN CÁMARA FRIGORÍFICA .....	31
5.2.3. CURVAS DE REDUCCIÓN DE PRODUCCIÓN COMERCIAL .....	33
6. CONCLUSIONES .....	36
7. BIBLIOGRAFÍA .....	37
8. ANEXO .....	40

## 1. INTRODUCCIÓN

Este Trabajo Fin de Máster (TFM) se encuentra incluido dentro de un conjunto de trabajos de investigación sobre el daño que las heladas producen en los cultivos agrícolas, llevados a cabo por el Dr. D. Julio Muro Erreguerena dentro del departamento de Producción Agraria de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos (E.T.S.I.A) de la Universidad Pública de Navarra (U.P.N.A), y en colaboración con *Agroseguro Madrid*.

Dicha colaboración responde al interés mutuo de investigar la repercusión de dicho fenómeno meteorológico en la producción agrícola, y observar si los distintos procesos de defoliación tienen alguna correlación con las diferentes temperaturas a las que se puede producir la helada.

En el trabajo se estudia el efecto sobre la producción final de heladas simuladas mediante defoliación manual, y también de aquellas producidas por congelación en cámara frigorífica de plantas de patata, en función del estado de crecimiento en el que éstas se encuentran. Para esto, se controlaron variables encaminadas a definir los estadios fenológicos de la planta de patata según la clasificación realizada por Hack *et al.* (1993). Todo esto permite la peritación de daños objetivamente, obteniendo del estudio unas tablas de tasación con las que se persigue la contratación de la póliza con la empresa de seguro por parte del agricultor, consiguiendo su satisfacción.

El estudio se ha llevado a cabo en la finca de prácticas de la E.T.S.I.A., en el campus de la U.P.N.A, situada al sudeste de Pamplona. Aunque la producción de patata no está demasiado extendida en esta zona a causa del cultivo predominante de cereales, las condiciones climáticas sí son similares a las de áreas con alta producción de patata.

## 2. ANTECEDENTES

### 2.1. CARACTERÍSTICAS DEL CULTIVO DE PATATA

La planta de patata se caracteriza por su sensibilidad a las heladas, produciéndose su destrucción a temperaturas inferiores a los  $-3^{\circ}\text{C}$  (Chen y Li, 1980). Su cero vegetativo se sitúa entre  $6$  y  $8^{\circ}\text{C}$ , aunque los brotes soportan temperaturas de  $2^{\circ}\text{C}$  (Maroto, 1992).

Las temperaturas próximas a  $0^{\circ}\text{C}$  no causan la muerte de las hojas, pero provocan daños selectivos en las hojas más jóvenes y en la zona apical del tallo (Maroto, 1992). Las temperaturas bajas producen clorosis en formas de áreas difusas o manchas, con o sin deformación de las hojas. A veces estos daños pueden ser confundidos con ataques de virus o daños de los herbicidas.

Respecto a las características del suelo, la patata manifiesta todo su potencial en suelos ligeros o semiligeros, ricos en humus, profundos y con pH 5,5-6. Se considera una especie relativamente resistente a la salinidad (Knott, 1982).

Habitualmente se distinguen tres categorías de patata:

- La patata de consumo, que puede tener varias denominaciones según su estado de madurez y aptitud para la conservación: primor, temprana o de conservación. Se destina al mercado de consumo en fresco o a la transformación para alimentación humana.
- La patata feculera, destinada a la transformación industrial para la producción de fécula con diversos objetivos.
- La patata de siembra o simiente.

### 2.2. PRODUCCIÓN MUNDIAL Y ESPAÑOLA DE PATATA

En los últimos años, la producción de patata en España se ha mantenido ligeramente constante, tal y como se puede apreciar en la Tabla 1, correspondiente a los datos de Food and Agriculture Organization of the United Nations (F.A.O). En el territorio nacional se producen alrededor de 2.502.300 toneladas de tubérculos de patata, cifra que corresponde aproximadamente al 0,76% de la producción mundial.

*Tabla 1. Producción de patata en España y en el mundo (F.A.O).*

	Producción (toneladas)				
	Año				
	2005	2006	2007	2008	2009
España	2.563.464	2.515.001	2.479.582	2.365.500	2.480.800
Mundial	325.099.744	305.961.121	322.412.701	325.558.724	329.556.911

Sin embargo, en España, la superficie de patata cultivada ha ido descendido paulatinamente, hasta alcanzar la cifra de 84.600 hectáreas en 2009. Esto significa 10.000 ha menos que en 2005.

En consecuencia, hoy España importa un gran volumen de patatas. Desde 1990, las importaciones anuales de patatas crudas y elaboradas, principalmente de Francia, Alemania, Italia y Marruecos, ha aumentado de 395.000 toneladas a 1,2 millones de toneladas.

Respecto a la superficie mundial destinada a producir patata, la española representa el 0,4%. De los datos de producción y superficie cultivada arrojados en la Tabla 2, se deduce que España tiene medios de producción más eficientes que la media del resto de países.

**Tabla 2.** Superficie de patata cosechada en España y en el mundo (F.A.O)

	Área cosechada (miles de Ha)				
	Año				
	2005	2006	2007	2008	2009
España	94,9	87,1	85,7	81,8	84,6
Mundial	19.228,6	18.489,9	18.641,5	18.081,8	18.326,2

### 2.3. ESTADIOS FENOLÓGICOS

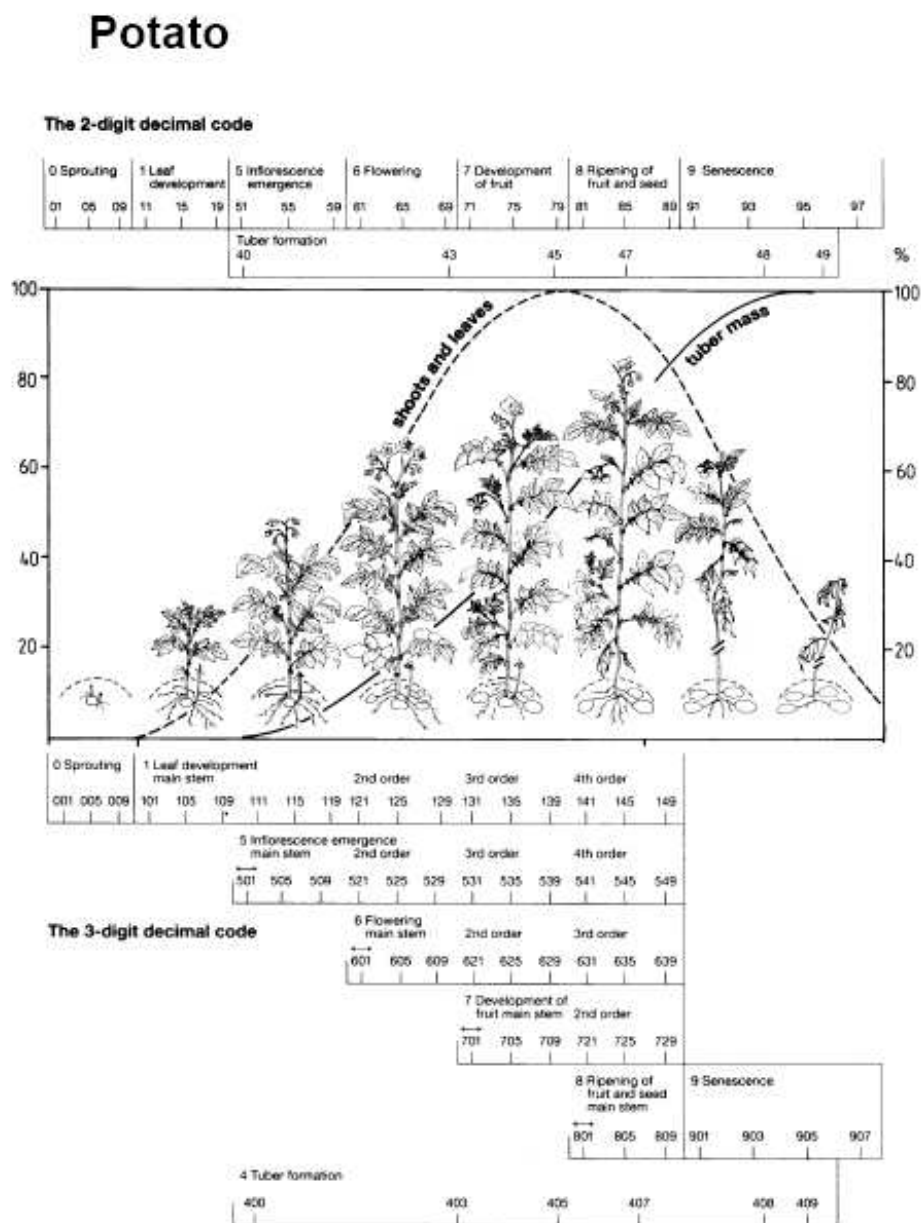
De los distintos estudios existentes encaminados a definir los estadios fenológicos de la planta de patata, el más completo es el realizado por Hack *et al.* (1993). En esta escala se relaciona la evolución fisiológica de diferentes partes de la planta con el crecimiento de masa foliar, el desarrollo de frutos, la formación de tubérculos y la senescencia. Se basa en diez fases fenológicas que se dan durante el desarrollo de la planta:

- 0: Germinación.
- 1: Desarrollo de las hojas.
- 2: Formación de yemas basales a partir del tallo principal tanto en la parte aérea como en la subterránea.
- 3: Elongación del tallo principal.
- 4: Inicio de la formación de tubérculos.
- 5: Desarrollo de tubérculos.
- 6: Floración.
- 7: Desarrollo de frutos.
- 8: Maduración de frutos y semillas.
- 9: Senescencia.

Todas estas fases se dividen en varios subestados definidos por códigos de dos y tres dígitos (Anexo 1).



La representación gráfica de todos estos estados se refleja en la Figura 1.



**Figura 1:** Escala para los estados fenológicos del crecimiento de la patata según Hack et al. (1993).

## 2.4. NORMAS DE CALIDAD PARA LA PATATA DE CONSUMO

Se hace referencia al Real Decreto 31/2009 aprobado a fin de regular la calidad de la patata de consumo en el mercado interior.

A continuación se expone la información más relevante contenida en dicho Real Decreto.

## 1. Definición del producto.

La presente Norma se refiere a los tubérculos de las variedades (cultivares) comerciales de patata obtenidos de *Solanum tuberosum L.* y de sus híbridos, todos ellos destinados a la entrega en estado natural fresco al consumidor.

Según su condición, se distinguen tres tipos comerciales de patata:

- “De Primor”, son las que además de ser cosechadas antes de su completa maduración natural, de forma que su epidermis o piel pueda desprenderse fácilmente por frotamiento, deben comercializarse en los días inmediatos a su recolección.
- “Nuevas”, son aquellas cosechadas en su completa maduración natural, y comercializadas en las semanas inmediatas a su recolección, sin más almacenamiento y/o conservación que el necesario para garantizar el desarrollo normal de su proceso de comercialización.
- “De Conservación”, son las cosechadas en su plena madurez, aptas para su comercialización después de pasar por un período de almacenamiento y/o conservación más o menos prolongado, sin merma de sus cualidades organolépticas.

## 2. Requisitos mínimos de calidad.

Los tubérculos deben ser:

- Enteros.
- Sanos (exentos de plagas y daños causados por plagas).
- Con las características propias de la variedad (forma y color).
- Prácticamente exentos de magulladuras, cortes, germinación, enverdecimientos, deformaciones, tierras y piedras.

## 3. Clasificación.

Las patatas se clasificarán en una de las dos categorías siguientes:

### 3.1. Categoría I.

Las patatas clasificadas en esta categoría deberán ser de buena calidad y presentar las características morfológicas regulares del tipo varietal al que pertenezcan.

### 3.2. Categoría II.

Esta categoría comprenderá las patatas que no puedan ser clasificadas en la categoría I pero que cumplan los requisitos mínimos establecidos.

## 2.5. ESTUDIOS SOBRE DAÑOS EN EL CULTIVO DE PATATA

En el cultivo de patata es frecuente observar cómo diferentes factores afectan a la planta durante su desarrollo. Los daños producidos pueden deberse a factores bióticos, como los insectos; o abióticos, como los fenómenos de helada o granizo. Todos estos agentes pueden influir negativamente a la producción final de tubérculos. A fin de conocer cómo afectan al cultivo de patata los factores más relevantes, se han realizado diferentes estudios.

A continuación se exponen algunos de los estudios realizados en función de la naturaleza del agente influyente. Así, el enfoque principal de este TFM es conocer cómo afecta el fenómeno de la helada, bien por simulación de esta o mediante la defoliación del cultivo, sobre la producción final de tubérculos.

### 2.5.1. MÉTODOS DE DEFOLIACIÓN PARA LA SIMULACIÓN DE DAÑOS EN EL CULTIVO DE PATATA

Diferentes métodos de defoliación se han utilizado en el cultivo de patata con la finalidad de simular daños producidos por fenómenos como granizo, insectos o heladas. En numerosos casos, la simulación del daño por defoliación se realiza con un simple corte bien con un cuchillo, tijera o con la mano (Cranshaw y Radcliffe, 1980; Sieczka, 1986; Butignol y Reis, 1989; Van der Berg *et al.*, 1990 y Notz y Ross, 1994). Este sistema es sencillo, rápido de realizar y, además, la precisión a la hora de eliminar el área foliar deseada es muy alta, aunque presenta varios inconvenientes. Por una parte, no se imita la irregularidad de la distribución de la defoliación realizada por los distintos tipos y magnitud de las heladas y, por otra, el tratamiento defoliante puede producir un efecto bastante diferente al ocasionado por una helada (Notz y Ross, 1994).

En algunos estudios, como en el trabajo realizado por Le Van An (2002) con defoliaciones producidas en plantas de patata dulce (*Ipomoea batatas l.*), la defoliación se realizó mediante la eliminación total de las ramas de la planta. Después se realizó el análisis según el porcentaje de ramas defoliadas de la planta. Este concepto tiene relevancia ya que los daños causados en los tallos tienen mayor importancia, tal y como demuestran los estudios realizados por Notz y Ross (1994), que aseguran que se pueden producir defoliaciones altas en hojas sin diferencias significativas en la producción. Sin embargo, defoliaciones bajas en tallos provocan grandes pérdidas.

Este tipo de defoliación mediante tijera también ha sido producido en plantas para simular daños originados por insectos, como el escarabajo de la patata, (*Leptinotarsa decemlineata*) pudiendo estudiar su repercusión en la producción (Mailloux y Bostanian, 1989).

Los trabajos entomológicos que utilizan insectos para provocar defoliaciones pueden servir para estudiar, a su vez, el efecto defoliador ocasionado por una tormenta de granizo, en aquellos casos en los que los ataques controlados de insectos se realicen en un intervalo corto de tiempo (Lugojja *et al.*, 2001). En estos casos, es habitual controlar el periodo sin defoliación mediante aplicación de insecticidas o con jaulas.

Se realizan con distintas especies de insectos y en diversos continentes: *Acarrea acerata* en África (Lugojja *et al.*, 2001; Gent *et al.*, 1998); *Leptinotarsa decemlineata* en América (Mailloux y Bostanian, 1989); *Leptinotarsa decemlineata* en Europa (Zehnder y Evanylo, 1988).

Las defoliaciones, en algunos casos, también han sido utilizadas para simular heladas. En el trabajo realizado por Fairlie y Ortega en 1995 en el altiplano peruano, el método utilizado consistía en defoliar en distintos estados fenológicos de la planta de patata. Se estudiaron cinco niveles de defoliación: 0, 25, 50,75 y 100%. Según este estudio, los estadios fenológicos más susceptibles resultaron ser la emergencia y el inicio de la formación de estolones, cuando el daño a la parte aérea de la planta fue superior al 50%. En este caso, el rendimiento se redujo entre 30 y 50%. Se observó además que, cuando el daño por helada se produjo en el estado fenológico de inicio de floración (100 días después de la siembra), la reducción del rendimiento en todos los niveles estudiados fue considerable, registrándose una disminución de 15 a 55%. La metodología para reproducir el daño por helada, mediante la eliminación de la parte aérea de acuerdo al nivel de daño y un frotamiento posterior del área foliar remanente, parece haber dado buen resultado.

Algunos autores han utilizado elementos motorizados para realizar defoliaciones. Firman y Allen (1992) utilizaron una cortadora mecanizada, aunque con este método resulta difícil diferenciar niveles de defoliación. Orr *et al.* (1991) realizaron un ingenioso mecanismo de imitación del efecto que produce una tormenta de granizo. El método constaba de una barra de la que colgaban bolas de plomo a diferentes alturas, usándose bolas de diferente diámetro para provocar diferentes grados de defoliación. La barra giraba mecánicamente en sentido rotatorio sobre su eje longitudinal, provocando el choque de las bolas sobre la planta.

El momento en el que se aplica la defoliación es importante ya que, al producir cortes de ramas en estadios iniciales, la producción final puede ser mayor que la de los testigos, debido a una homogenización del cultivo por diferencias originadas en la emergencia y un aumento de la ramificación. A esta misma conclusión llegan varios autores, realizando incluso defoliaciones con diferentes métodos simulando daños provocados por insectos (Senanayake *et al.*, 1993) o granizo (Murphy y Goven, 1962).

### **2.5.2. DEFINICIÓN DE LOS MOMENTOS DE INTERVENCIÓN**

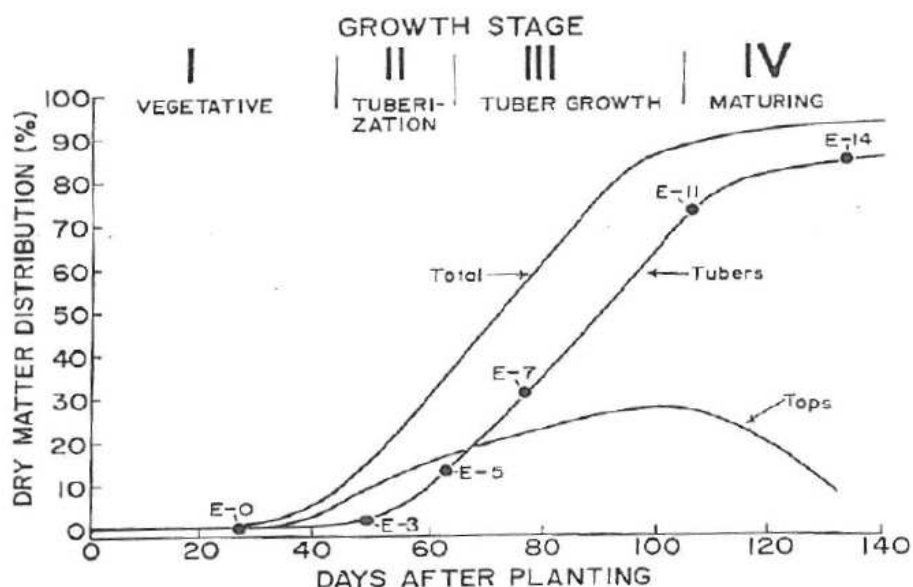
A la hora de centrar el estudio de simulación de daños es importante determinar objetivamente el estado de crecimiento de la planta cuando se le aplican los diversos tratamientos.

En los últimos años se están realizando estudios sobre la repercusión de la defoliación sobre la producción. Los criterios utilizados para definir el estado de la planta en el momento de la defoliación son muy variados. Los criterios más sencillos, pero menos objetivos, se basan en la fecha de intervención (Cranshaw y Radcliffe, 1980), días o semanas después de la plantación (Zehnder y Evanylo, 1988) o emergencia (Orr *et al.*, 1991).

Una primera clasificación en la que se define el estado de crecimiento basado en las características fisiológicas de la planta, es el estudio realizado por Sparks y Woodbury (1959). En este estudio se diferencian seis estados fenológicos: plantas de 15-20 cm, plantas de 30-38 cm, 50% en floración, plena floración, pasada floración completa y crecimiento completo.

Otros artículos (Zenhnder y Evanylo, 1988; Murply y Goven, 1962), presentan una clasificación más sencilla que la realizada por Sparks y Woodbury (1959). Fairlie y Ortega (1995) dividen el ciclo de la planta de patata en seis estados fenológicos en los cuales realizan la simulación de helada. Dichos estados fenológicos fueron: emergencia, inicio de la formación de estolones, inicio de la floración, inicio de la tuberización, final de la floración y final de la tuberización.

Kleinkopf (1992), realizó la Figura 2 para definir cuatro estados de crecimiento de patata Russet Burbank.



**Figura 2 .** Distribución del porcentaje de materia seca de la variedad de patata Russet Burbank para diferentes estados de crecimiento (Kleinkopf, et al 1982). De E-0 hasta E-14 son las semanas después de brotación y representan las fechas de defoliación utilizadas en éste estudio.

De la bibliografía consultada, la clasificación más completa es la de Hack *et al.* (1993). De hecho, por todas las características indicadas, es la clasificación de los estados fenológicos elegida para la definición de los momentos de intervención del Trabajo Fin de Máster.

### 2.5.3. EFECTO DE LOS DIFERENTES DAÑOS EN EL CULTIVO DE PATATA SOBRE LA PRODUCCIÓN

Los resultados obtenidos en diversos estudios muestran cómo el efecto causado por determinados daños afecta de manera evidente a la producción en función de diferentes variables.

Sparks y Woodbury (1959) observaron como la reducción de la producción está influenciada en gran medida por el grado de daño producido y el momento en el que éste se ha producido (tabla 3). Las defoliaciones ligeras influyen de manera muy leve a la producción final, mientras que defoliaciones severas (100%) afectan en gran medida. Sin embargo, no son tan fácilmente deducibles las diferencias de producción ocasionadas según el momento de intervención para una misma defoliación.

Se observa como el porcentaje de reducción productiva aumenta conforme va creciendo la planta hasta pasar la floración. A partir de este estado, las heladas provocan descensos productivos menores que en estados anteriores. Esto, a priori, se debe a que el ciclo del cultivo está bastante avanzado y la planta ya no es tan vulnerable.

**Tabla 3.** Porcentaje de pérdidas de producción en patata (*Solanum tuberosum*, L.) de primera calidad en patata en función del porcentaje de defoliación y la fase del estadio en la que se realiza, según Sparks y Woodbury (1959).

Estado fenológico	Porcentaje de defoliación		
	10%	50%	100%
15-20 cm.	0	7	37
30-38 cm.	5	29	81
50% floración	6	35	86
Plena floración	7	42	93
Pasada plena floración	6	33	73
Crecimiento complementario	4	24	63

La Tabla 4 muestra los resultados obtenidos por Murphy y Goven (1962) para la simulación de los daños provocados por granizo en las variedades de patata *Katahdin* y *Kennebec*. Se observa cómo las pérdidas de producción son máximas cuando el daño se produce en plena floración. En ese momento, la planta demanda una mayor cantidad de fotoasimilados a fin de destinarlos a las inflorescencias y a los tubérculos. Es en este preciso estado cuando un fenómeno climatológico puede provocar un descenso vertiginoso de la producción, sobre todo en la comercial.

Puede observarse en la tabla 4 cómo la reducción productiva puede estar influenciada por la variedad de patata que se cultive. Unas variedades son más resistentes que otras a las bajas temperaturas.

**Tabla 4.** Resultados obtenidos por Murphy y Goven (1962) para la simulación de los daños provocados por granizo en las variedades de patata *Katahdin* y *Kennebec*.

Estados fenológicos	Nivel de daño							
	Leve (10-15%)		Moderado (40-50%)		Severo (70-80%)		Completo (100%)	
20-25cm	(*) 6,7	<b>3,8</b>	7,3	<b>11,3</b>	10,0	<b>15,3</b>	100,0	<b>100,0</b>
Inicio floración	8,4	<b>8,4</b>	8,8	<b>14,9</b>	14,1	<b>23,9</b>	100,0	<b>100,0</b>
Plena floración	13,4	<b>11,2</b>	20,7	<b>18,0</b>	24,6	<b>24,1</b>	59,3	<b>67,4</b>
2 semanas después	4,2	<b>2,7</b>	7,4	<b>3,9</b>	12,4	<b>9,3</b>	35,8	<b>58,0</b>

(\*) La enumeración en negrita corresponde a los datos de *Kennebec* y la normal a las cifras de *Katahdin*.

En todos los trabajos se observa que, al aumentar el porcentaje de defoliación, aumenta el porcentaje de reducción, aunque puede ser significativo o no. La relación entre la producción comercial y total es alta (Notz y Ross, 1994), aunque conforme aumenta el daño, el efecto sobre la producción comercial es mayor que sobre el total, ya que aumenta la producción no comercial (Murphy y Goven, 1962).

Las defoliaciones realizadas durante las primeras etapas de desarrollo de la planta provocan descensos en la producción final poco importantes. Defoliaciones de hasta el 33% de pérdida de masa foliar no influyen, apareciendo ligeras reducciones con defoliaciones del 67%. Este efecto es explicable por dos razones: la primera es que la tuberización se inicia en épocas posteriores, por lo que obtendrá menos cantidad de fotoasimilados y, por lo tanto, el inicio de la tuberización será menos vigoroso; la segunda es que no cabría esperar graves consecuencias debido al largo periodo de recuperación, sobre todo en variedades tardías (Cranshaw y Radcliffe, 1980). En las siguientes fases se produce el inicio de la tuberización y floración.

En esta fase se centran los procesos fisiológicos que mayor consumo de fotoasimilados presentan y, por lo tanto, la defoliación provoca las mayores repercusiones (Notz y Ross, 1994). Esto conlleva una importante deducción: la máxima reducción se da en plena floración. Sin embargo, terminada la floración, la repercusión de las defoliaciones es menor, ya que la demanda energética disminuye ligeramente.

Los últimos estadios fenológicos se caracterizan por el descenso de la actividad fotosintética hasta la senescencia, y el aumento de tamaño y peso de los tubérculos hasta la maduración. Las defoliaciones ocurridas en esta fase provocan moderadas reducciones de la producción total, aunque tan sólo surgen diferencias significativas para defoliaciones del 100% (Wille y Kleinkopf, 1992). La repercusión en el tamaño comercial es menor debido a que, en estos estadios, los tubérculos ya han alcanzado el tamaño comercial.

Exactamente lo mismo se deduce del experimento llevado a cabo por Fairlie y Ortega (1995). Los tratamientos de simulación de heladas en los últimos estadios fenológicos (final de floración y final de tuberización) tienen una repercusión muy escasa sobre la producción final de tubérculos.

La razón del descenso de producción ante defoliaciones elevadas según Notz y Ross (1992), se deben a que, con esta fase, se origina un descenso de fotoasimilados de la parte aérea a la radical y, por eso, los daños elevados perjudican el sistema vascular, dificultando el descenso de estos fotoasimilados. En la madurez o cerca de ella, el daño simulado causa pérdidas insignificantes, salvo en los casos en los que los tallos son dañados en tal grado que se impide la translocación de nutrientes e hidratos de carbono hacia los tubérculos (Wille y Kleinkopf, 1992).

Otro concepto valorado en los ensayos es evaluar el efecto que provoca defoliar en distintas partes de la planta. Un estudio de Cranshaw y Radcliffe (1980) sostiene que las defoliaciones realizadas en la parte alta de la planta influyen en la reducción de la producción. En ninguno de los tres momentos del ensayo la producción de las plantas defoliadas en la parte superior alcanzó la producción de los testigos.

Daños en la zona media no repercuten nada en la producción, ya que incluso se produce un aumento de la misma debido a la eliminación de la superficie foliar que está sombreando las hojas inferiores. Las defoliaciones de hojas inferiores no repercuten negativamente, excepto en el caso de realizarse durante el periodo de inicio de tuberización. Esto se debe a la presencia de determinadas hormonas en las hojas de la parte inferior de la planta, que inducen la tuberización (Cutter, 1978).

**Tabla 5.** Resultados obtenidos por Cranshaw y Radcliffe (1980).

Días de intervención	Zona defoliada	Producción (% respecto testigo)
11-VII	Alto	0,86 <sup>a</sup> (*)
	Medio	1,07 <sup>a</sup>
	Bajo	1,08 <sup>a</sup>
3-VIII	Alto	0,87 <sup>a</sup>
	Medio	1,00 <sup>a</sup>
	Bajo	0,88 <sup>a</sup>
24-VIII	Alto	0,96 <sup>a</sup>
	Medio	1,07 <sup>a</sup>
	Bajo	1,08 <sup>a</sup>
Testigo:		1,00 <sup>a</sup>
Producción 35.9 t/ha		

(\*) Promedios seguidos por una misma letra en la fila para fechas y cada columna para la defoliación, no fueron significativamente diferentes al 5% de acuerdo a la prueba de rangos múltiples de Waller-Duncan.

Estos mismos autores analizan el efecto de defoliaciones uniformes y aleatorias. Para realizar este estudio, Cranshaw y Radcliffe (1980) defoliaron el 33% y el 66% en tres momentos distintos de forma aleatoria e uniforme. Las conclusiones obtenidas indican que defoliaciones aleatorias reducen más la producción que defoliaciones uniformes de la planta.

Los daños producidos por una tormenta de granizo o la acción masticadora de los insectos producen defoliaciones generalmente heterogéneas. Esto provoca que los efectos de dichos fenómenos sean mayores que si el daño se produjera de forma homogénea.

Los resultados obtenidos muestran, por un lado, que defoliaciones de 33 y 66% siempre obtienen producciones inferiores a las de los testigos, y por otro lado, más importante, que defoliaciones aleatorias dan lugar a producciones menores que defoliaciones uniformes.

Es fundamental también el estudio de la intensidad y repetición de los daños en el cultivo. Estudios realizados por Sparks (1959) llegan a la conclusión de que repeticiones de defoliaciones débiles provocan más daño que una de mayor porcentaje. Sin embargo, Cranshaw y Radcliffe (1980) afirman que la repetición de tratamientos no causa efecto añadido.



La totalidad de los trabajos analizados coinciden en afirmar que las variedades tardías sufren pérdidas de producciones menores que las variedades tempranas. Esto se debe a que las variedades tardías disponen de más tiempo para recuperar el efecto de la defoliación. Las variedades tempranas tienen, en general, mayor probabilidad de estar expuestas a periodos de heladas debido a que las primeras semanas tras la brotación pueden coincidir con los últimos fríos de la primavera. Por el contrario, la brotación de variedades tardías suele darse en periodos libres de helada. Es cierto que los daños ocasionados en etapas tempranas del cultivo tienen una relevancia pequeña en la producción. Sin embargo, por ligero que sea el efecto en la producción, es preciso tenerlo en cuenta.

Tras esta afirmación no es difícil plantearse que ocurriría si se retrasara la recolección, quizás la recuperación sería total. Retrasar la recolección diez días provoca un aumento significativo de la producción (Jewell y Stanley, 1989), lo que tiene gran interés económico.

La planta de patata presenta una capacidad muy alta de recuperación de masa foliar perdida por la defoliación. Esta recuperación se explica por la brotación de las yemas axilares. Por ejemplo, defoliando el 25% en el estado en torno a 15 cm, la planta recupera esta superficie en tan sólo seis días, por lo que se puede afirmar que la capacidad de recuperación es muy rápida. Por otro lado, defoliaciones inferiores al 25% en los primeros estadios llegan a alcanzar la superficie foliar de las testigos (Murphy y Goven, 1962). No está de más indicar que al aumentar el porcentaje de defoliación, el periodo de recuperación debe ser mayor o dicha recuperación no será total.

Los factores que provocan esta recuperación son dos: por una parte, al eliminar la yema apical se elimina la dominancia apical, aumentando mucho el crecimiento de las ramificaciones laterales, que rápidamente corrigen el daño existente; por otra parte, al eliminar hojas que provocan sombreado, las que están por debajo aumentan su actividad, compensando rápidamente la pérdida.

Una de las técnicas culturales más arraigada en ciertas zonas de producción de patata es el uso de la rastra en los primeros estadios fenológicos. El principio agronómico de esta técnica es provocar un aumento de la ramificación de la planta, y homogeneizar el cultivo por las diferencias producidas en la emergencia. Al aumentar las ramificaciones, la producción final será mayor. A esta misma conclusión llegan varios autores, incluso realizando defoliaciones con diferentes métodos como daño provocado por insectos (Senanayake *et al.*, 1993) o granizo (Murphy y Goven, 1962).

En numerosos trabajos se toma el porcentaje de defoliación de las hojas como el factor que mejor explica, junto con el momento de defoliación, las variaciones en la producción (Zehnder y Eevanylo, 1992); afirmación que queda contradicha por los estudios de Nozt y Ross (1994), que aseguran que se pueden dar defoliaciones altas en hojas sin obtener grandes diferencias significativas y, por el contrario, defoliaciones bajas en tallos pueden provocar grandes pérdidas. Por lo tanto, parece más correcto tener en cuenta los daños en tallos y no en hojas.

## 2.6. SIMULACIÓN DE HELADAS

Las heladas producen que el fluido intracelular de la planta, principalmente agua, se congele y se formen microcristales. Esto provoca la rotura de las células y la liberación de sus fluidos, rompiendo los tejidos vasculares de la planta e impidiendo el transporte de solutos y de agua a través de la planta. Después de unos pocos días, las zonas afectadas por la helada mueren y dejan zonas necróticas. Este fenómeno de heladas por radiación puede producirse regularmente en algunas zonas durante los meses finales de primavera.

Así, los cultivos situados en fondos de valle o lugares de poca elevación, corren mayor riesgo de heladas por radiación. Dichas heladas suceden por una serie de características especiales y normalmente se asocian a una topografía determinada.

Por ello, existen zonas que son más propensas a estar sometidas en primavera a temperaturas nocturnas próximas a 0°C. El balance energético nocturno hace que la superficie terrestre se enfríe rápidamente, pues la radiación que emite es mucho mayor que la que recibe. Este fenómeno se acrecenta en noches despejadas. El aire se enfría por la alta pérdida del calor por radiación y se inicia la helada (Fairlie y Ortega, 1995).

La mayoría de los experimentos realizados para estudiar el efecto que las heladas tienen sobre los cultivos de la patata se realizan simulando la helada mediante la defoliación mecánica controlada. En pocos trabajos de investigación se realiza esta simulación de forma real, disminuyendo la temperatura hasta valores deseados. Esto es así porque es más factible defoliar manual o mecánicamente que transportar las plantas desde el campo hasta una cámara de gran tamaño. Además, en casi la totalidad de los trabajos experimentales, las patatas son plantadas directamente en el suelo, tal y como ocurre en el campo. Esto impide, por un lado, el transporte regular a la cámara frigorífica en los diversos estados de crecimiento y, por otra parte, tras arrancar las plantas, se anula la posibilidad de que el cultivo continúe su crecimiento.

Existen pocos trabajos realizados con el objetivo de estudiar el efecto que producen las heladas sobre la producción. Uno de estos fue realizado por Fairlie y Ortega (1995), y en él se simula el efecto de las heladas mediante defoliación manual de las plantas.

Es importante tener en cuenta que pueden darse diversos tipos de daños cuando una helada “verdadera” afecta el cultivo, pudiendo darse la muerte de algunas plantas al ocurrir una resistencia diferencial entre plantas ante el fenómeno atmosférico. Muchas variables, tales como la duración de la helada, la temperatura de la misma, el contenido de humedad del suelo y de la planta (si las hojas están turgentes o flácidas), influenciarán el tipo y grado de daño. El daño a la planta variará significativamente entre heladas y dentro del mismo campo.

### **3. OBJETIVOS**

- Cuantificar el efecto en la producción de los daños provocados por la simulación de helada en cámara frigorífica, o por defoliación de tijera en las diferentes etapas de desarrollo del cultivo de patata.
- Concretar los momentos más sensibles a las defoliaciones y heladas, y cómo afectan éstas a la producción total.
- Observar si existe relación alguna entre los tratamientos helada y defoliación a tijera.
- Confeccionar tablas de tasación que sirvan para determinar los daños ocasionados por helada en patata.

## 4. MATERIAL Y MÉTODOS

### 4.1. PARCELA DE ENSAYO

#### 4.1.1. LOCALIZACIÓN

Se llevaron a cabo dos ensayos en la finca de prácticas y experimentación agrícola de la Escuela Superior de Ingenieros Agrónomos de la de la Universidad Pública de Navarra. La parcela de la finca dedicada al estudio se encuentra localizada en una superficie de 298 m<sup>2</sup>, y a una altitud aproximada de 449 m.

#### 4.1.2. SUSTRATO UTILIZADO

El ensayo se realizó en macetas individuales de 24 litros de capacidad. Como sustrato se utilizó turba neutralizada a pH 5,5-6, y enriquecida con 1kg/m<sup>3</sup> de abono complejo Osmocote de liberación lenta con equilibrio 15-7-15. El cultivo se llevó a cabo en un invernadero al aire libre, y la siembra se realizó el 21 de abril, sembrándose un tubérculo por maceta. Se utilizó riego por goteo, y fue necesaria la aplicación de abono complejo NPK con equilibrio 12-8-13, y Fetrilon 13 debido a la aparición de algunos síntomas de deficiencias. Asimismo, se realizaron varios tratamientos contra mildiu.

#### 4.1.3. CLIMATOLOGÍA

En la Tabla 6, se muestran las temperaturas máximas, mínimas y medias diarias, y las precipitaciones correspondientes al intervalo de tiempo que va desde la siembra de las patatas en las macetas (21 de abril) hasta su recolección final (5 de septiembre), obtenidas de la estación meteorológica situada en la Finca de Prácticas de la ETSIA.

*Tabla 6. Datos meteorológicos durante el ciclo de cultivo.*

MESES	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre*
T <sup>a</sup> máxima	27,4	28,7	32,8	36,2	37,4	33,7
T <sup>a</sup> mínima	0,3	-0,3	7,4	12,4	10,4	3,8
T <sup>a</sup> media	12,9	13,5	1,8	22,2	21,3	17,1
Precipitación (mm)	65,3	48,6	67,9	69,9	4,2	16,2

(\*) Datos hasta el día 5 de septiembre

Los datos climatológicos del periodo en el cual se realizó el ensayo tienen una alta relevancia, ya el ensayo presupone ausencia de heladas espontáneas. Las únicas heladas esperadas son las de los tratamientos, sin embargo, podemos observar como el día 7 de mayo se produjo una helada natural de -0.3°C que pudo afectar al cultivo, y que además, pudo influir en los cálculos realizados a posteriori.

#### 4.1.4. MATERIA VEGETAL

Se utilizó la variedad de patata Agria que pertenece a la categoría certificada Clase A, cuyo calibre medio final se encuentra entre los 30-50 cm de diámetro. La patata se obtuvo en OPPOSA cuya zona de producción es el pirineo navarro.

Esta variedad es de las más demandadas, debido a su uso para el consumo habitual. Se caracteriza por ser de madurez tardía, y por su forma oval alargada. Su piel y carne son de color amarillo intenso.

#### **4.1.5. LABORES**

Los tubérculos se sometieron en un fitotrón durante 15 días, a temperaturas comprendidas entre 18-25°C, y una elevada humedad relativa para inducir la brotación de las yemas. Esto produjo un crecimiento uniforme de las patatas, permitiendo la selección de tubérculos totalmente viables para el ensayo.

Posteriormente, el día 21 de abril se procedió a la siembra manual, plantando un tubérculo por maceta a unos 15-20 cm de la superficie.

Para complementar los minerales y elementos básicos proporcionados por la turba, el 18 de junio se realizó un abonado con abono de COMPO y Fetrilon, como aporte de micronutrientes. El COMPO es un abono complejo NPK 12-8-16+3Mg, con micronutrientes con inhibidor de nitrificación (DMPP). El procedimiento se llevó a cabo diluyendo 5 g de Fetrilon en 30 litros de agua, que se aplicaron en 120 plantas del ensayo. Esto implica que cada maceta recibió 0,04 g de Fetrilon. Asimismo, se realizaron varios tratamientos contra mildiu.

Además, se procedió a la retirada manual de malas hierbas, que crecieron propiciadas por la conjunción del aporte de abono, agua, y el aumento de las temperaturas.

El agua se suministró al cultivo mediante riego diario por goteo (entorno a 1l/día/maceta).

La recolección se realizó el día 5 de septiembre. Se recogieron por separado los tubérculos de cada una de las macetas, en sacos debidamente etiquetados

#### **4.1.6. DISEÑO Y METODOLOGÍA DE LOS ENSAYOS**

Se han llevado a cabo dos ensayos para simular el efecto de heladas en el cultivo de patata. Uno de los ensayos, consistió en la simulación mediante defoliación con tijera, mientras que el otro, consistió en la simulación mediante congelación real en cámara frigorífica.

El diseño fue igual en ambos ensayos. El tratamiento principal de cada ensayo, fueron los estadios fenológicos en los que se encontraban las plantas en el momento de intervención, y el tratamiento secundario, fueron los porcentajes de defoliación en uno de los ensayos, y las temperaturas aplicadas en el otro ensayo. Para cada combinación de tratamientos se utilizaron 14 plantas, 6 de ellas para los controles finales, y 8 para los controles durante el ciclo.

Asimismo, se utilizaron 56 plantas testigo, 36 para los controles durante el ciclo, y 20 para los controles finales. Una vista general de los dos ensayos puede observarse en la Figura 3.

Los seis estadios fenológicos en que se encontraban las plantas en los momentos de intervención pueden observarse en la Tabla 7.

**Tabla 7.** Estadios fenológicos en que se encontraban las plantas en los momentos de intervención.

Momento de intervención			Momento fenológico		
Momento	Fecha	dds*	Escala agroseguro	BBCH**	Descripción
1	5 de mayo	14	Estado 2	100	Primeras hojas comienzan a alargarse, cotiledones completamente desplegados
2	19 de mayo	28	Estado 3	108	8ª hoja del tallo principal desplegada
3	26 de mayo	35	Estado 4-5	119/401	19ª hoja del tallo principal desplegada/ comienzo de la formación de los tubérculos
4	2 de junio	41	Estado 5	501/403	Botones florales de la primera inflorescencia visibles / alcanzado el 10% de la masa
5	9 de junio	48	Estado 6	404	Alcanzado el 20% de la masa total del tubérculo
6	16 de junio	55	Estado 7	405	Alcanzado el 30% de la masa total del tubérculo

(\*) dds: días desde siembra

(\*\*) BBCH: Números según el sistema de codificación de estadios BBCH



**Figura 3.** Vista general del ensayo.

El tratamiento secundario fue diferente en los dos ensayos. En el ensayo en el que se realizó la simulación mediante defoliación, el tratamiento secundario fueron los distintos niveles de defoliación.

Se aplicaron tres niveles: 0% de defoliación (plantas testigo), defoliación media (se perseguía defoliar el 50% del área foliar), y defoliación alta (aproximadamente el 100% del área foliar). Las defoliaciones se realizaron mediante cortes con tijera.

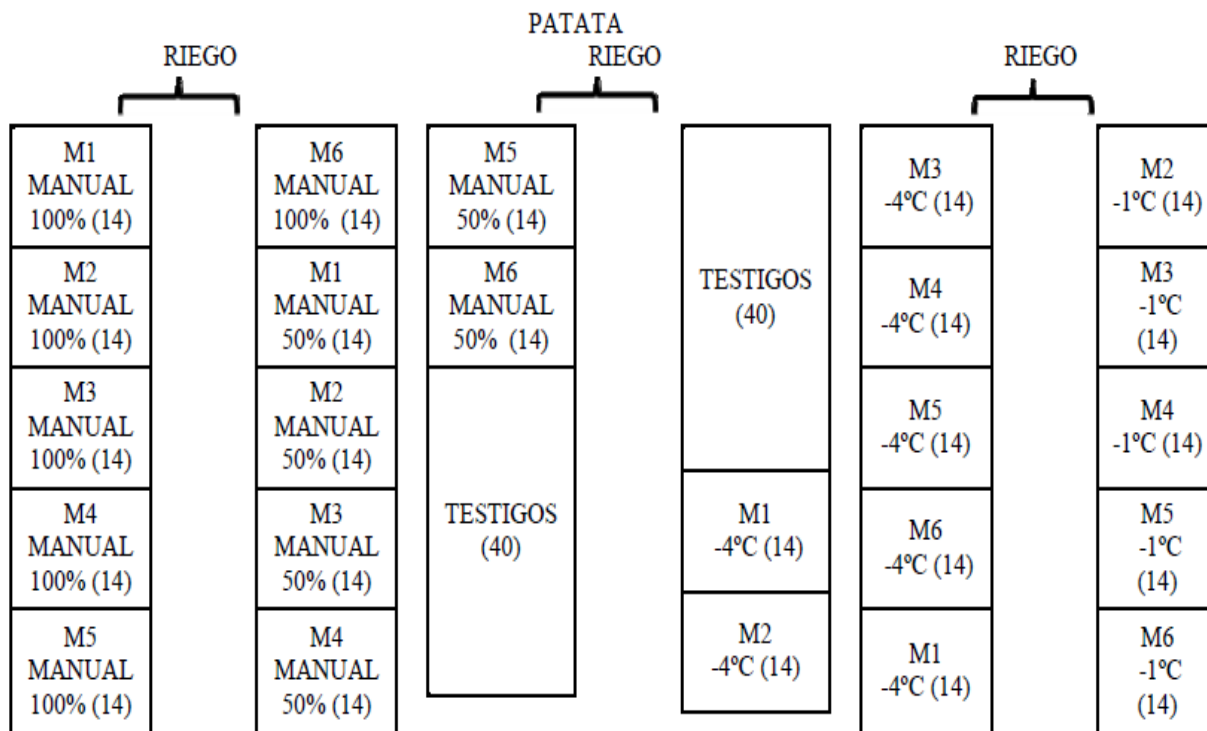
En el ensayo en el que se realizó la simulación con bajas temperaturas, se aplicaron tres niveles de helada: no helada (plantas testigo), helada de -1°C y helada de -4°C.

Las heladas se llevaron a cabo introduciendo las macetas correspondientes en una cámara frigorífica, como se observa en la Figura 4, durante aproximadamente 5+19 horas.

Las cinco primeras horas fueron en las que se aplicó la helada. Necesitándose aproximadamente una hora para alcanzar la temperatura correspondiente, y manteniendo las plantas a esa temperatura durante las siguientes cuatro horas. Posteriormente, se apagaba la cámara frigorífica, pero las plantas se mantenían dentro hasta el día siguiente para que la subida de temperatura fuera gradual. Así, se colocaron tres sondas de temperatura dentro de la cámara, para registrar la evolución de la misma a lo largo del proceso. Se colocó una sonda clavada en el sustrato de una de las macetas, para comprobar si la disminución de temperatura afectaba a los tubérculos. Las otras dos sondas, se situaron a nivel de la parte aérea de las plantas (Figura 4).



**Figura 4.** Vista de las plantas de patata en la cámara frigorífica.



\*Manual corresponde a defoliación manual con tijeras.

Figura 5. Vista general de la distribución del ensayo en campo.

## 4.2. METODOLOGÍA DE LA SIMULACIÓN DE HELADAS MEDIANTE CÁMARA FRIGORÍFICA

### 4.2.1. ACCIONES REALIZADAS

En cada uno de los seis estadios fenológicos a intervenir, se introdujeron 14 plantas por helada en una cámara frigorífica en la que, manipulando el termostato, se produjeron dos tipos de heladas: una fuerte a  $-4^{\circ}\text{C}$  un día, y una suave a  $-1^{\circ}\text{C}$  al día siguiente. El proceso de enfriamiento duró 24 horas, periodo durante el cual las plantas estaban a la temperatura mínima programada durante cinco horas (una hora de descenso de temperatura, más cuatro horas de helada), y 19 horas de ascenso de temperatura. Después de la helada se volvieron a trasladar las plantas al aire libre.

Se colocaron tres sondas de temperatura en la cámara, dos a la altura de las plantas, y otra en el interior de una de las macetas, para conocer la evolución de la temperatura a nivel del tubérculo.

No fue necesario aislar las macetas lateralmente, gracias a la buena capacidad aislante térmica de la turba, ya que ésta posee un aislamiento superior a la de un suelo normal.



## **4.2.2. MEDICIONES Y CONTROLES**

### **4.2.2.1. Controles de las plantas testigos en los momentos de intervención.**

Se determinaron en dos plantas los pesos frescos y secos de hojas, tallos y tubérculos (si existen), y también se midió con SPAD la intensidad de color verde de la hoja situada inmediatamente por debajo de las hojas apicales.

### **4.2.2.2. Control del efecto de las heladas**

A los 15, 30, 60 y 90 días después de cada momento de intervención, se realizaron controles para evaluar los daños producidos por los tratamientos efectuados. Estos controles se realizaron sobre dos plantas tratadas, y sobre dos plantas testigo. Además, se realizó la descripción del aspecto general, la medición de pesos frescos y secos de hojas, tallos, tubérculos, y se tomaron fotografías detalladas.

### **4.2.2.3. Recolección**

Se recogieron por separado los tubérculos de cada maceta, seis macetas por cada combinación de tratamientos, y 20 macetas testigo. Sobre estos tubérculos se determinaron:

- Número, peso y diámetro de tubérculos comerciales (>4 cm).
- Número, peso y diámetro de tubérculos no comerciales (<4 cm).
- Cálculo de la reducción de producción comercial.

## **4.3. METODOLOGÍA DE LA SIMULACIÓN DE HELADAS MEDIANTE DEFOLIACIÓN CON TIJERA**

### **4.3.1. ACCIONES REALIZADAS**

En cada uno de los seis estadios fenológicos a intervenir, se defoliaron con tijera 14 plantas por tratamiento. Se simuló una helada fuerte, defoliando el 100% de la planta, y una helada suave, defoliando aproximadamente el 50% de la planta.

### **4.3.2. MEDICIONES Y CONTROLES**

#### **4.3.2.1. Control en los momentos de intervención**

Las mediciones sobre los testigos de desarrollo en el tratamiento de defoliación con tijera, se hicieron de la misma forma que las realizadas para el ensayo de simulación de helada en cámara.

Para facilitar la evaluación del porcentaje real de defoliación aplicado en el tratamiento del 50%, se realizaron fotografías del área foliar de las plantas.

#### **4.3.2.2. Control del efecto de las defoliaciones**

En los 15, 30, 60 y 90 días posteriores a cada momento de intervención, se realizaron controles para evaluar los daños producidos por las defoliaciones.

Estos controles se realizaron sobre dos plantas de cada tratamiento, y sobre dos plantas testigo.

Además, se realizó la descripción del aspecto general, y la medición de ambos pesos (fresco y seco) de hojas, tallos y tubérculos, y se tomaron fotografías detalladas.

Los parámetros sobre los que se midió el peso, junto con la reducción de la producción comercial, fueron los mismos que se han descrito en los párrafos anteriores.

Estos datos se compararon con los datos de dos plantas testigo también estudiadas.

#### **4.3.2.3. Recolección**

Se recogieron por separado los tubérculos de cada maceta, seis macetas por cada combinación de tratamientos, y 20 macetas testigo. Sobre estos tubérculos se determinaron:

- Número, peso y diámetro de tubérculos comerciales (>4 cm).
- Número, peso y diámetro de tubérculos no comerciales (<4 cm).
- Cálculo de la reducción de producción comercial.

### **4.4. ESTADIOS FENOLÓGICOS DE INTERVENCIÓN**

Los cuatro tratamientos (dos niveles de defoliación y dos niveles de helada), se aplicaron sobre las plantas de patata en seis estadios de desarrollo diferentes. Los estadios fenológicos en cada momento de intervención, se definieron mediante la escala de Hack *et al.* (1993), descrita en el Apartado 2.3.

Los momentos fenológicos en que se encontraban las plantas en cada intervención han sido descritos en el Apartado 4.1.6.

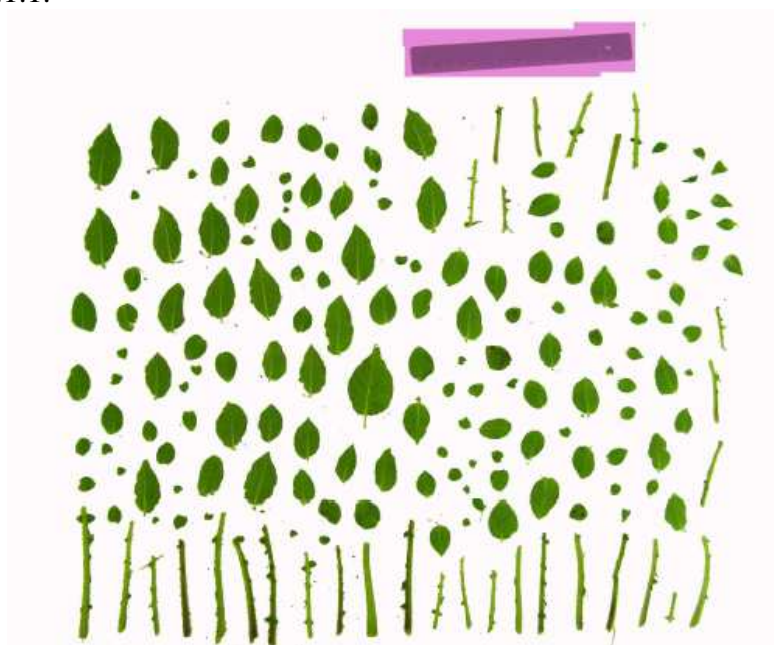
### **4.5. CÁLCULO DEL PORCENTAJE DE DEFOLIACIÓN REAL EN EL ENSAYO DE TIJERA**

La defoliación teórica que se quiere realizar en el trabajo no siempre es igual a la defoliación real que se lleva a cabo. Para conocer exactamente el porcentaje real defoliado, es preciso medir la superficie foliar de varias plantas antes, y después de aplicar el tratamiento.

En cada fecha de control se tomaron datos, y fotos de la superficie foliar total de la planta, y la superficie foliar remanente tras la defoliación causada. Esto se efectuó sobre dos plantas testigo, y una por tratamiento, para cada momento de intervención. Las plantas seleccionadas, se utilizaron para obtener una estimación del porcentaje exacto de defoliación aplicado con la defoliación media, mediante análisis de imagen.

Para ello, se cogieron las hojas de una planta testigo, y se extendieron sobre una superficie para se fotografiadas, como se observa en la Figura 6.

Posteriormente, esas hojas se cortaron de la misma forma que en la defoliación media (aproximadamente el 50%), se volvieron a colocar en una superficie, y se fotografiaron. A partir de estas fotografías, mediante un software de análisis de imagen (Image Pro-Plus v 4.5), se calculó el área foliar de las dos fotografías, y se obtuvo así una aproximación al porcentaje de defoliación aplicado realmente. Los porcentajes estimados de defoliación en el nivel medio de daño, se muestran posteriormente en el Apartado 5.2.1.1.



**Figura 6:** Fotografía de una planta testigo en el momento 5, utilizada para el cálculo del % de defoliación con Image Pro Plus V4.5.

#### 4.6. CÁLCULO DE LAS CURVAS DE REDUCCIÓN DE PRODUCCIÓN COMERCIAL

A partir de los datos de producción de cada una de los tratamientos, se obtuvo el porcentaje de reducción de cosecha, comparando la producción comercial de cada una de las macetas, con la de las macetas testigo (0% defoliación/no helada) mediante la siguiente expresión:

$$\% \text{ Reducción} = \frac{(\text{Prod. Plantas Testigo} - \text{Prod. Plantas daño}^*)}{\text{Prod. Plantas Testigo}} \times 100$$

\* Daño: plantas sometidas a heladas de  $-1^{\circ}\text{C}$  y  $-4^{\circ}\text{C}$  o a defoliaciones del 50 y 100%.

A partir de los porcentajes de reducción de producción, y los porcentajes de defoliación aplicados entre las temperaturas aplicadas en cada uno de los momentos de intervención, se obtuvieron ecuaciones de regresión lineal. En el caso del ensayo de congelación en cámara, se tomó como temperatura de los testigos, la temperatura mínima en la parcela del ensayo en el tiempo de aplicación de los tratamientos ( $-0,3^{\circ}\text{C}$ ). Con estas ecuaciones de regresión, se calcularon las curvas de reducción de producción en función del momento fenológico de las plantas, y los daños producidos.

Al sustituir la incógnita “x” en la ecuación por un porcentaje de daño, se obtiene la pérdida de producción esperada.

#### **4.7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

Se analizaron los datos obtenidos en los controles finales de los dos ensayos, mediante anovas de dos vías. Los factores de variación fueron el momento de intervención, y el porcentaje de defoliación/temperatura aplicada.

Se obtuvieron interacciones significativas, por lo que se analizaron subgrupos por anovas de una vía utilizando como test “Post Hoc” el test S-N-K. De esta forma, se obtiene el efecto de los diferentes niveles de defoliación/temperatura en cada momento fenológico, y el efecto de los momentos fenológicos en cada nivel de defoliación/temperatura.

Los datos de reducción de la producción de cada momento fenológico, y ensayo, se analizaron mediante una regresión lineal.

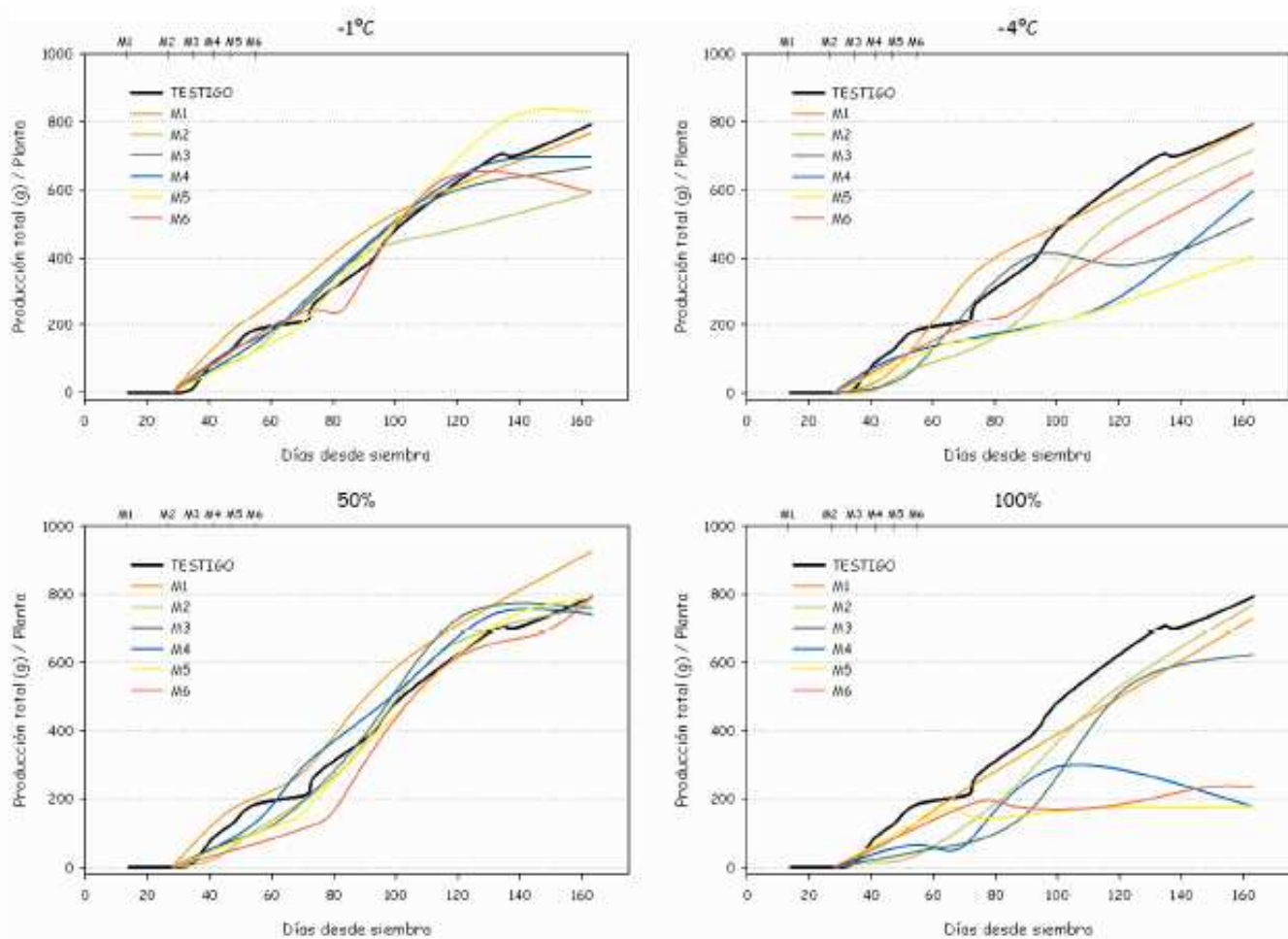
El programa estadístico utilizado es SPSS v.17.

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1. CONTROLES A LO LARGO DEL CICLO

A partir de los resultados obtenidos en los controles a lo largo del ciclo, se elaboró la Figura 7, en la que se representa la evolución de la producción total de tubérculos por planta, a lo largo del ciclo de cultivo para cada tratamiento de defoliación/helada y para los diferentes estadios fenológicos.

En esta figura, se puede observar como para los tratamientos de  $-1^{\circ}\text{C}$ , y defoliación media, no se observa un retraso importante en la producción para ninguno de los estadios fenológicos o momentos de aplicación. Quizás se observa un ligero retraso, para el estadio fenológico 2 con el tratamiento de  $-1^{\circ}\text{C}$ , pero no parece muy importante. Se observa claramente como el 100% de defoliación aplicada en los estadios fenológicos 4, 5 y 6, hace que la producción de tubérculos sufra un parón, y además no llegue a recuperarse posteriormente. Para el tratamiento de  $-4^{\circ}\text{C}$ , se observa también que al aplicarlo en los momentos 3, 4 y 5, estos sufren un retraso en el engrosamiento de tubérculos, aunque no un parón, de alrededor de un mes o mes y medio.



**Figura 7.** Evolución de la producción total de tubérculos por planta a lo largo del ciclo de cultivo para cada uno de los tratamientos y momentos fenológicos.

## **5.2. CONTROLES FINALES**

### **5.2.1. ENSAYO DE SIMULACIÓN MEDIANTE DEFOLIACIÓN CON TIJERA**

En la Tabla 8, se muestran los resultados obtenidos para el cultivo de variedad Agria en el ensayo de defoliación con tijera. Se observó que las defoliaciones, hicieron disminuir significativamente la producción total a partir del momento fenológico 4, y que únicamente la hicieron disminuir significativamente las defoliaciones del 100% del área foliar. Al igual que la producción total, la producción comercial (t ha<sup>-1</sup>) comenzó a disminuir a causa de las defoliaciones del 100% a partir del estadio fenológico 4, y los estadios fenológicos 4 a 6 fueron los más sensibles significativamente para defoliaciones altas. No se observaron diferencias significativas entre estadios fenológicos, ni entre niveles de defoliación para la producción no comercial. En cuanto al número de tubérculos comerciales por ha, únicamente se observaron diferencias significativas a partir del estadio fenológico 4 para defoliaciones del 100% y, al igual que en la producción comercial, los estadios 4 a 6 fueron los más sensibles para estas defoliaciones. No se observaron diferencias en cuanto al número de tubérculos no comerciales. Las defoliaciones del 100%, causaron una disminución del diámetro de los tubérculos comerciales (cm) en los estadios fenológicos 4 y 5. El peso medio de los tubérculos comerciales (g), únicamente se vio afectado significativamente por las defoliaciones altas en el estadio fenológico 5. Observando la reducción de la producción comercial (%), se observó que en el estadio fenológico 4, tanto las defoliaciones medias como altas, causaron una reducción significativa de la producción comercial. En los dos siguientes estadios fenológicos, y en el estadio fenológico 3, únicamente las defoliaciones altas causaron una reducción significativa de la producción comercial. Cabe destacar también, que las defoliaciones medias aplicadas en el primer estadio fenológico, causaron un aumento significativo de la producción comercial.

**Tabla 8.** Resultados obtenidos para el ensayo de defoliación mediante tijera para cada una de las combinaciones de nivel de defoliación y momento fenológico.

Producción total (t ha <sup>-1</sup> )						
Defoliación	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Testigo	46,6 ab A*	46,6 a A	46,6 a A	46,6 a A	46,6 a A	46,6 a A
Media	54,4 a A	45 a A	44,8 a A	43,7 a A	46,5 a A	46,5 a A
Alta	43 b A	45,3 a A	36,7 a A	10,4 b B	10,5 b B	13,9 b B
Producción comercial (t ha <sup>-1</sup> )						
Defoliación	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Testigo	40 a A	40 a A	40 a A	40 a A	40 a A	40 a A
Media	46,5 a A	37,5 a A	38,5 a A	35,5 a A	42,2 a A	41,1 a A
Alta	36 a A	38,3 a A	31,2 a A	3,5 b B	2,1 b B	5,1 b B
Producción no comercial (t ha <sup>-1</sup> )						
Defoliación	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Testigo	6,6 a A	6,6 a A	6,6 a A	6,6 a A	6,6 a A	6,6 a A
Media	8 a A	7,4 a A	6,3 a A	8,1 a A	4,3 a A	5,4 a A
Alta	7 a A	7 a A	5,5 a A	7 a A	8,4 a A	8,7 a A
Número de tubérculos comerciales ha						
Defoliación	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Testigo	435294 a A	435294 a A	435294 a A	435294 a A	435294 a A	435294 a A
Media	460784 a A	470588 a A	485294 a A	426471 a A	450980 a A	400000 a A
Alta	392157 a A	313726 a A	264706 a A	58824 b B	47059 b B	78432 b B
Número de tubérculos no comerciales ha						
Defoliación	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Testigo	276471 a A	276471 a A	276471 a A	276471 a A	276471 a A	276471 a A
Media	264706 a A	343138 a A	352941 a A	323530 a A	196079 a A	176471 a A
Alta	303922 a A	196079 a A	161765 a A	397059 a A	423529 a A	352941 a A
Diámetro medio de tubérculos comerciales (cm)						
Defoliación	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Testigo	5 a A	5 a A	5 a A	5 a A	5 a A	5 a A
Media	5,2 a A	4,9 a A	4,9 a A	4,8 ab A	5 a A	4,8 a A
Alta	4,9 a AB	5,3 a A	5,3 a A	4,2 b C	4,2 b C	4,5 a BC
Peso medio de un tubérculo comercial (g)						
Defoliación	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Testigo	101,8 a A	101,8 a A	101,8 a A	101,8 a A	101,8 a A	101,8 a A
Media	103,2 a A	82,4 a A	81,9 a A	84,5 a A	97,1 a A	104,7 a A
Alta	101,1 a AB	124,8 a A	122,8 a A	59 a BC	45,4 b C	67,9 a BC
Reducción de la producción comercial (%)						
Defoliación	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Testigo	0 a A	0 a A	0 b A	0 c A	0 b A	0 b A
Media	-16,2 b A	6,5 a A	3,8 b A	11 b A	-5,3 b A	-3 b A
Alta	10 a B	4,3 a B	22 a B	91,3 a A	94,6 a A	87,3 a A

(\*) Valores seguidos de diferente letra, minúscula en columnas y mayúscula en filas, difieren estadísticamente ( $p < 0,05$ ) según el test de comparaciones múltiples S-N-K.

### 5.2.1.1. Defoliación real aplicada

Los tratamientos de defoliación con tijera se realizaron manualmente, por lo que los porcentajes de defoliación observados, fueron algo diferentes de los que se intentaban ejecutar. La defoliación real aplicada se muestra en la Tabla 9.

**Tabla 9.** Porcentajes de defoliación aplicados en el tratamiento del 50% para cada momento fenológico de aplicación.

	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Defoliación teórica (%)	50	50	50	50	50	50
Defoliación real (%)	70	73,47	72,55	70,72	63,57	68,84

Se puede observar que los porcentajes medios de defoliación aplicados, fueron superiores a los que en principio se intentaba obtener. La defoliación real realizada fue más severa a la que se deseaba. La cuantificación de las defoliaciones realizadas, revelaron que los porcentajes foliares eliminados, eran en torno a un 20% superiores a los que se intentaban obtener.

Es preciso citar que la defoliación es manual, y realizada por el operario, por lo tanto la cuantificación de la defoliación tiene una inevitable desviación subjetiva. No a la hora de la medición, pero sí en el momento de la defoliación

### 5.2.2. ENSAYO DE SIMULACIÓN MEDIANTE CONGELACIÓN EN CÁMARA FRIGORÍFICA

En la Tabla 10, se muestran los resultados obtenidos para el cultivo de variedad Agria en el ensayo de congelación en cámara frigorífica. La helada suave (-1°C) causó una disminución significativa de la producción total (t/ha) en los estadios fenológicos 2, 3, y 6, mientras que la helada mas fuerte (-4°C), causó una disminución significativa de la producción total, respecto a los testigos únicamente en el momento fenológico 3. Observando únicamente la producción comercial (t/ha), la helada suave disminuyó significativamente esta producción comercial respecto a los testigos en los estadios fenológicos 3 y 6. La helada suave, causó un descenso significativo de la producción comercial respecto a los testigos a partir del estadio fenológico 3. La producción no comercial no se vio afectada significativamente por ninguna combinación de tratamientos. El número de tubérculos comerciales, únicamente disminuyó significativamente para la helada de -4°C en el estadio fenológico 3 y, el número de tubérculos no comerciales no se vio afectado significativamente por ningún tratamiento. Tampoco el diámetro medio de los tubérculos comerciales, ni el peso medio de los tubérculos comerciales, fueron afectados significativamente por ninguna de las heladas ni por el momento de aplicación de las mismas. La reducción de la producción comercial, sí que estuvo afectada por las heladas y los estadios fenológicos. Se observó que la helada de -1°C en el estadio fenológico 1, causó una reducción significativa de la producción comercial incluso, superior a la de la helada de -4°C. En el resto de estadios fenológicos, los dos niveles de helada causaron una reducción significativa de la producción comercial, siendo los estadios fenológicos 3 a 5 los más sensibles para las heladas más fuertes.



**Tabla 10.** Resultados obtenidos para el ensayo de congelación en cámara frigorífica para cada una de las combinaciones de nivel de defoliación y momento fenológico.

Producción total (t ha <sup>-1</sup> )						
Temperatura	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Testigo	46,6 a A	46,6 a A	46,6 a A	46,6 a A	46,6 a A	46,6 a A
-1°C	45,2 a A	34,8 b A	33,4 b A	41,1 a A	38,6 a A	31,9 b A
-4°C	46,5 a A	38,9 ab AB	29,3 b B	35,1 a AB	32,5 a AB	37 ab AB
Producción comercial (t ha <sup>-1</sup> )						
Temperatura	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Testigo	40 a A	40 a A	40 a A	40 a A	40 a A	40 a A
-1°C	33,7 a A	30,5 a A	26,4 b A	33,3 a A	31,8 ab A	26,8 b A
-4°C	38,6 a A	33,1 a AB	20,3 b B	23,6 b B	24,3 b B	28,4 b AB
Producción no comercial (t ha <sup>-1</sup> )						
Temperatura	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Testigo	6,6 a A	6,6 a A	6,6 a A	6,6 a A	6,6 a A	6,6 a A
-1°C	11,4 a A	4,3 a A	7,1 a A	7,8 a A	6,8 a A	5,1 a A
-4°C	7,9 a A	5,8 a A	9 a A	11,5 a A	8,2 a A	8,6 a A
Número de tubérculos comerciales ha						
Temperatura	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Testigo	435294 a A	435294 a A	435294 a A	435294 a A	435294 a A	435294 a A
-1°C	401961 a A	352941 a A	317647 ab A	426471 a A	382353 a A	367647 a A
-4°C	421569 a A	305882 a A	245098 b A	264706 a A	279412 a A	294118 a A
Número de tubérculos no comerciales ha						
Temperatura	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Testigo	276471 b A	276471 a A	276471 a A	276471 a A	276471 a A	276471 a A
-1°C	519608 a A	200000 a A	364706 a A	367647 a A	382353 a A	250000 a A
-4°C	333333 b A	270588 a A	313726 a A	367647 a A	411765 a A	400000 a A
Diámetro medio de tubérculos comerciales (cm)						
Temperatura	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Testigo	5 a A	5 a A	5 a A	5 a A	5 a A	5 a A
-1°C	4,7 a A	4,9 a A	4,7 a A	5 a A	4,9 a A	4,7 a A
-4°C	4,8 a A	5 a A	4,6 a A	5 a A	4,7 a A	4,8 a A
Peso medio de un tubérculo comercial (g)						
Temperatura	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Testigo	101,8 a A	101,8 a A	101,8 a A	101,8 a A	101,8 a A	101,8 a A
-1°C	85,7 a A	86,3 a A	80,8 a A	81,7 a A	84,4 a A	72 a A
-4°C	94,3 a A	111,9 a A	90,9 a A	93,1 a A	94,1 a A	98,4 a A
Reducción de la producción comercial (%)						
Temperatura	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Testigo	0 b A	0 b A	0 c A	0 c A	0 c A	0 b A
-1°C	15,7 a A	24 a A	34 b A	16,8 b A	21 b A	33 a A
-4°C	3,3 b B	17,6 a AB	49,2 a A	41 a A	39,5 a A	29 a AB

(\*) Valores seguidos de diferente letra, minúscula en columnas y mayúscula en filas, difieren estadísticamente ( $p < 0,05$ ) según el test de comparaciones múltiples S-N-K.

### 5.2.3. CURVAS DE REDUCCIÓN DE PRODUCCIÓN COMERCIAL

La Tabla 11 muestra las ecuaciones de regresión lineal obtenidas en ambos ensayos, al correlacionar los porcentajes de defoliación aplicados, o las temperaturas y las pérdidas de producción comercial obtenidas para cada estadio fenológico.

**Tabla 11.** Ecuaciones de regresión lineal obtenidas para el ensayo de defoliación con tijera y el de congelación en cámara frigorífica ( $x = \% \text{ de defoliación/temperatura}$ ;  $y = \% \text{ reducción de producción}$ ).

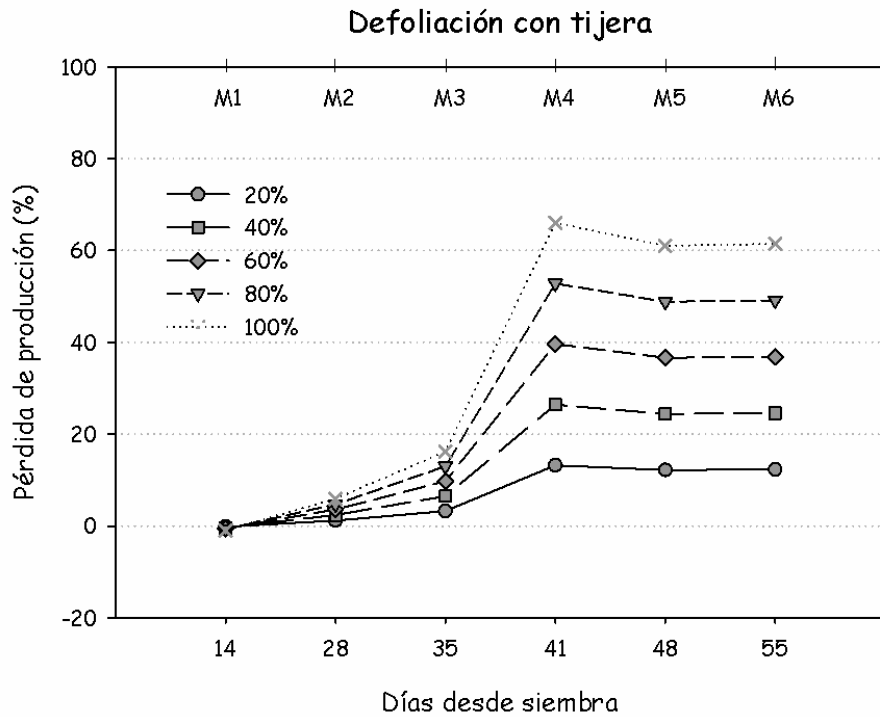
Defoliación con tijera				Congelación en cámara frigorífica			
Momento fenológico	$y = bx$	R2	Sig.	Momento fenológico	$y = bx$	R2	Sig.
M1	$y = -0,009x$	0,001	ns	M1	$y = 0,591x + 7,377$	0,004	ns
M2	$y = 0,059x$	0,106	ns	M2	$y = -3,041x + 7,907$	0,077	ns
M3	$y = 0,162x$	0,390	*	M3	$y = -11,097x + 7,249$	0,434	*
M4	$y = 0,66x$	0,750	***	M4	$y = -10,502x + 0,147$	0,792	***
M5	$y = 0,61x$	0,590	***	M5	$y = -10,156x - 0,92$	0,808	***
M6	$y = 0,614x$	0,642	***	M6	$y = -5,865x + 8,379$	0,126	ns

A partir de las ecuaciones de regresión lineal obtenidas, se calcularon valores de reducción de cosecha para ambos ensayos. En el caso del ensayo de defoliación con tijera, se calculó la reducción de producción en caso de 20%, 40%, 60%, 80% y 100% de daño foliar. Para el ensayo de congelación, se calculó la pérdida de producción en caso de temperaturas de 0°C, -2°C, -4°C y -6°C. A partir de los resultados obtenidos, se elaboraron las curvas de reducción de producción comercial para los dos ensayos. Los valores quedan reflejados en las Figuras 8 y 9. En el eje de abscisas se representan los seis momentos fenológicos en que se aplicó la defoliación, así como los días transcurridos desde la siembra. El eje de ordenadas representa el porcentaje de reducción de la producción comercial.

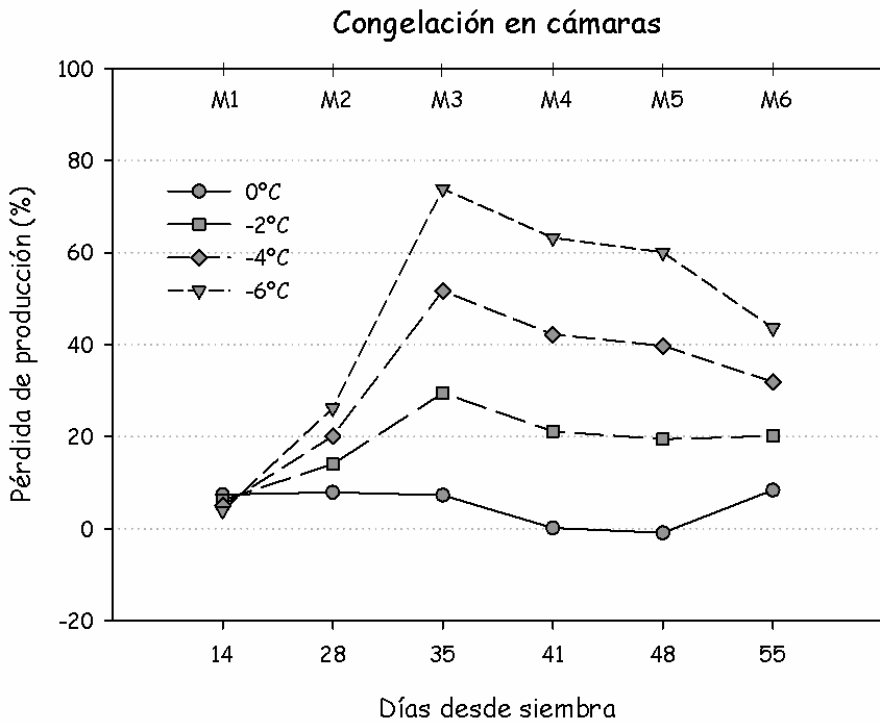
Las curvas de ambos ensayos no siguieron tendencias similares. Los daños en el ensayo de defoliación causan las mayores pérdidas de producción comercial en el estadio fenológico 4 (botones florales de la primera inflorescencia visibles / alcanzado el 10% de la masa total del tubérculo), alcanzado una reducción del 66% para daños del 100%. Los daños foliares en el primer estadio fenológico, no causarían pérdidas sobre la producción y, en los dos siguientes, las pérdidas oscilarían entre el 0 y el 20%. En el estadio 4, las pérdidas serían máximas y, posteriormente, en los estadios en los que el tubérculo está más desarrollado, las pérdidas disminuirían a valores del 61% para el 100% de defoliación aplicada.

En el caso del ensayo de congelación en cámara frigorífica, el estadio fenológico que muestra mayores pérdidas de producción es el 3 (19ª hoja del tallo principal desplegada/comienzo de la formación de los tubérculos), alcanzándose reducciones del 74% para las temperaturas más bajas. En este caso, las temperaturas de 0°C apenas causarían daños en la producción, oscilando entre 0 y 8% según en estadio fenológico. El resto de temperaturas sí que causarían daños mayores. El primer estadio fenológico

(primeras hojas comienzan a alargarse, cotiledones completamente desplegados) sería el menos sensible, igual que en el ensayo anterior, con pérdidas entre el 3% y 8%. Las pérdidas de producción aumentan algo para el estadio fenológico 2, y son máximas para el 3. A partir de éste, las pérdidas van disminuyendo hasta el estadio 6, en el que se obtienen reducciones máximas del 44% para  $-6^{\circ}\text{C}$ .



**Figura 8.** Curvas de reducción de la producción comercial en el cultivo de patata variedad Agria con reducción foliar del 20%, 40%, 60%, 80% y 100% en diferentes estadios fenológicos.



**Figura 9.** Curvas de reducción de la producción comercial en el cultivo de patata variedad Agria para temperaturas de  $0^{\circ}\text{C}$ ,  $-2^{\circ}\text{C}$ ,  $-4^{\circ}\text{C}$  y  $-6^{\circ}\text{C}$  en diferentes estadios fenológicos.

A la vista de las curvas obtenidas, se puede apuntar a que la congelación de plantas en cámara frigorífica causa mayores daños sobre la producción en los momentos 2 y 3, que la defoliación mediante tijera. Es de destacar también, que los estadios fenológicos más sensibles son diferentes en ambos ensayos, aunque son dos estadios fenológicos consecutivos. En ambos ensayos sí que se observa que a partir del estadio fenológico 5, en el que se ha alcanzado el 20% de la masa final del tubérculo, las pérdidas disminuyen, especialmente en el estadio 6 para el ensayo de congelación en cámara. Los dos estadios más sensibles, coinciden con el inicio de la tuberización y la floración, que como se ha apuntado en numerosos trabajos científicos, son los momentos más sensibles a daños en el cultivo.

Notz y Ross (1994) obtienen diferencias significativas a partir del nivel de daño del 25% de defoliación, desde la emergencia hasta el engrosamiento de los tubérculos. En nuestro ensayo, en el momento 1 y 2, las diferencias apenas son significativas, aunque la defoliación sea muy elevada. Según estos autores, aparecen diferencias que no son significativas para la producción total, pero que sí lo son para la producción comercial. Dichas defoliaciones afectan de forma más acusada a la producción comercial que a la total. Esto es debido a que los tubérculos se han formado pero, sin embargo, no han alcanzado el calibre comercial debido a la aparición de la helada, y la parada que se produce en la formación de fotoasimilados.

Según Notz y Ross (1994), el tratamiento defoliante puede producir un efecto bastante diferente al ocasionado por una helada. Hemos visto en nuestro ensayo que los efectos producidos por ambos tipos de tratamiento, helada en cámara, y defoliación con tijera, dan lugar a reducciones productivas que se asemejan parcialmente, pero con evidentes diferencias en la evolución de los daños a lo largo del ciclo.

Los resultados obtenidos en este TFM para el ensayo simulación de helada mediante defoliación con tijera, se corresponden en parte con los expuestos por Wille y Kleinkopf (1992), en los que explican que el periodo más susceptible de sufrir defoliaciones es durante el engrosamiento y, que la máxima reducción de la cosecha, es del orden del 50% para defoliaciones finales.

La primera parte de lo relatado por Wille y Kleinkopf (1992) se cumple para este ensayo, ya que el periodo más susceptible, es durante el engrosamiento de los tubérculos. En cambio, la segunda afirmación no se asemeja tanto a nuestros resultados, pues defoliaciones totales en el momento más vulnerable, provocan reducciones comerciales en torno al 50%, mientras que en este estudio los resultados muestran reducciones de alrededor del 65-70%.

## 6. CONCLUSIONES

- Defoliaciones del 100% en los últimos estadios fenológicos (4 a 6), paran el crecimiento de los tubérculos, no llegándose a recuperar la producción.
- Temperaturas de  $-4^{\circ}\text{C}$  aplicadas en los estadios fenológicos 3 a 5, causan una pérdida importante en la producción de los tubérculos.
- Defoliaciones mediante tijera aplicadas en los estadios fenológicos iniciales (hasta 8ª hoja desplegada), apenas causan reducción en la producción comercial.
- Los daños causados mediante congelación, en estos estados fenológicos causan mayores pérdidas de producción comercial, pudiendo llegar al 30% para temperaturas de  $-6^{\circ}\text{C}$ .
- Los daños causados por congelación, causan la máxima reducción de la producción comercial en el estadio de inicio de la tuberización, mientras que, los daños por defoliación, son más severos en el siguiente estadio en el que se ha alcanzado un 10% de la masa final del tubérculo (M4).
- Los daños máximos obtenidos para el ensayo de congelación en cámara frigorífica, son superiores a los producidos por tijera, obteniéndose en el primero pérdidas máximas de producción del 74%, y en el segundo, del 66%.
- Los daños causados en ambos ensayos en los dos últimos estadios fenológicos en los que se ha alcanzado entre el 20% y 30% de la masa final del tubérculo, son menores, disminuyendo especialmente en el caso de congelación en cámara frigorífica.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

BARRALES-DOMÍNGUEZ, J.S; ALEJO-SANTIAGO, G. 2002. Crecimiento de plantas de papa cv. atlantic durante el periodo invernal, acolchadas con rastrojo. Revista Chapingo Serie Horticultura, 8(1), pp. 39-48.

BORRELL, A; COTRINA, P. 1996. El cultivo de la patata en Aragón. HFHortoinformación, 71, pp. 23-28.

BUTIGNOL, C.A; REIS, M.S. 1989. Yield reduction in potatoes artificially defoliated at four ages. Pesquisa agropecuaria brasileira, 24, pp. 1175-1180.

CADENAS, P. 1996 Distintos aspectos de la calidad de la patata. Agricultura, 763, pp. 163-165.

CHEN, H.H; LI, P.H; BRENNER, M.L. 1983. Involvement of abscisic acid in potato cold acclimation. Plant Physiology, 71, pp. 362-365.

CRANSHW, W.S.; RADCLIFFE, E. B. 1980. Effect of defoliation o yield of potatoes. J. Economic entomology, 73, pp. 131-134.

FAIRLIE, T.E; ORTEGA, A. Efecto de la presencia de heladas simuladas en diferentes estados fenológicos y su impacto en el rendimiento de la papa cv *Ccompis*: estudio preliminar. 1995. Revista Latinoamericana de la Papa, 7/8, pp. 86-93.

FERRANDINO, F.J. 1988. Estimating crop yield loss in the field caused by plant defoliation. Frontiers of Plant Science, 40; 5

FIRMAN, D.M; ALLEN, E.J. 1993. Effects of windrowing, irrigation and defoliation of potatoes on silver scurf (*Helminthosporium solani*) disease. Journal of Agricultural Science, 121, pp. 47-53.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA. Datos meteorológicos de la estación de la ETSIA en la Universidad Publica de Navarra (Pamplona)

JARAMILLO, J; ALVAREZ, A; SALDARRIAGA, A. 1989. Estudios del nivel económico de daño de la polilla de la papa. Revista Colombiana de Entomología, 15, pp. 28-35.

JEWELL, S; STANLEY, R. 1989. The influence of defoliation date and interval on the quality of potatoes for franch fry production. Potato Research, 32, pp. 431-438.

JOHNSON, K.B; RADCLIFFE, E.B. 1991. Validation of a model simulating the feeding effects of the potato leafhopper (*Empoasca fabae*) on potato growth. Crop Protection, 10, pp. 416.

- LE VAN AN; BODIL. E; FRANKOW-LINDBERG; JAN ERIK LINDBERG. 2003. Effect of harvesting interval and defoliation on yield and chemical composition of leaves, stems and tubers of sweet potato (*Ipomoea batatas* L. (Lam.)) plants arts. *Field Crops Research*, 82, pp. 49-58.
- LEYVA-CARMONA, J; BARRALES-DOMÍNGUEZ, J.S. 2001. Cobertura vegetal y daños causados por helada en papa (*Solanum tuberosum* L.). *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 7(2), pp. 151-158.
- LUGOJJA,F; OGENGA LATIGO, M.W; SMIT,N.E. 2001. Impact of defoliation on the agronomic perforce of. *African Crop Sciencie Journal*, 9, pp. 103-108.
- MAILLOUX, G; BOSTANIAN. N.J. 1989. Effect of manual defoliation on potato yield at maximum abundance of different stages of colorado potato beetle in the yield. *J. Agricultural Entomology*, 6, pp. 217-226.
- MAPA (Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación). Normas de calidad para la patata de consumo. RD 31/2009. Dirección General de la Producción Agraria. Madrid.
- MERINO, J. 1996. El cultivo de la patata en La Rioja. *HF-Hortoinformación*, 73, pp. 23-26.
- MURPHY, H.J; GOVEN, M.J. 1962. The effect of simulated hail damage on yield and quality of potataoes in Maine. *Bulletin of University of Maine*, 607.
- NOTZ, A.; ROSS, F. 1994. Simulación de daños de insectos masticadores a diferentes niveles y etapas de crecimiento y su efecto sobre el rendimiento de la papa, *Solanum tuberosum*. *Boletín de Entomología Venezolana*, 9, pp. 49-54.
- SENANAYAKE, D.G; HOLLIDAY, N.J. 1989. Seasonal abundance of foliagedwelling insect pests in commercial fields and insecticide-free plots of potato in Manitoba. *The Canadian Entomologist*, 121, pp. 253-265.
- SENANAYAKE, D.G; HOLLIDAY, N.J. 1990. Economic injury levels for Colorado potato beetle (Coleoptera: Chrysomelidae) on 'Norland' potatoes in Manitoba. *J. Economic Entomology*, 83, pp. 2058-2064.
- SEPPÄNEN, M.M; COLEMAN, G.D. 2003. Characterization of genotypic variation in stress gene expression and photosynthetic parameters in potato. *Plant, Cell and Environment*, 26, pp. 401-410.
- SEPPÄNEN, M.M; NISSINEN, O; PERÄLÄ. 2001. Freezing and low temperature photoinhibition tolerance in cultivated potato and potato hybrids. *Agricultural and food science in Findland*, 10, pp. 153-163.
- SIECZKA, J.B, 1986. The effects of defoliation on plant growth and tuber yield. *American potato Journal*, 63, pp. 455-487.
- SPARKS, W.C; WOODBURY, G.W. 1959. Stages of potato plant growth. *Bulletin of the Idaho Agricultural Experimental Station*, 309, pp. 1-22.

SUKUMARAN, N.P; WEISER, C.J. 1972. Freezing injury in potato leaves. *Plant Physiology*, 50, pp. 564-567.

VAN DEN BERG, J. H; STRUICK, P.C; EWING, E. 1990. One-leaf cuttings as a model to study second growth in the potato plant. *Annals of botany*, 66, pp. 273-280.

WOELFEL, S; FARACK. 2005. Defoliation of potato plants. Possible influence on potato starch. *Kartoffelbau*, 56, pp. 237-240.

ZEHNDER, G.W; EVANYLO, G.K; 1988. Influence of Colorado potato beetle sample counts and plant defoliation on potato tuber production. *American Potato Journal*, 65, pp. 725-736.



## 8. ANEXO

**Anexo 1:** Fases fenológicas que se dan durante el desarrollo de la planta.

### ESTADO 0: GERMINACIÓN

Códigos		Descripción	
2 dígitos	3 dígitos	Desarrollo tubérculos	Desarrollo semillas
00	000	Dormición innata o impuesta; tubérculos no brotados	Semilla seca
01	001	Comienzo de brotación: Brotaciones visibles (<1mm)	Comienzo de inhibición semilla
02	002	Brotos verticales <2mm	
03	003	Fin de dormición: Brotes>2mm	Completa inhibición de la semilla.
05	005	Comienzo de formación de raíces	Raíces emergidas desde la semilla
07	007	Comienzo de formación de tallos	Hipocótilo con cotiledones brotados a través de la cubierta de la semilla.
08	008	Crecimiento de los tallos hacia la superficie, formación de hojas en las axilas de las cuales se desarrollaran más tarde los limbos foliares.	Hipocótilo con cotiledones emergiendo hacia la superficie.
09	009	Emergencia: tallos saliendo hacia la superficie de la tierra.	Emergiendo: cotiledones saliendo de la superficie de la tierra.
021-029 Para brotes de segunda generación.			

### ESTADO 1: DESARROLLO AREA FOLIAR

2 dígitos	3 dígitos	Descripción
10	100	Tubérculos: primeras hojas comienzan a expandirse.
11	101	Primera hoja del tallo principal desplegada (>4 cm)
12	102	Segunda hoja del tallo principal desplegada (>4 cm)
1X	10X	X hoja del tallo principal desplegada (>4 cm)
19	109	9 hojas del tallo principal desplegadas (>4cm)
	11X	10+X hoja del tallo principal desplegada (> 4cm)
	119	19 hojas del tallo principal desplegada (>4 cm)
	121	1ª hoja del tallo secundario por encima de la primera
	122	2ª hoja del tallo secundario por encima de la primera
	12X	X hoja del tallo secundario por encima de la primera
	131	1ª hoja del tallo terciario por encima de la segunda inflorescencia
	1NX	X hoja de ramas de N orden sobre inflorescencia N-1 desplegada

**ESTADO 2: FORMACIÓN DE YEMAS BASALES A PARTIR DEL TALLO PRINCIPAL TANTO POR ENCIMA COMO POR DEBAJO DE LA TIERRA**

2 dígitos	3 dígitos	Descripción
21	201	Primera yema basal (>5cm)
22	202	Segunda yema basal (>5cm)
2X	20X	X yema basal (>5cm)
29	209	9 ó más yemas basales visibles (>5cm)

**ESTADO 3: CRECIMIENTO DEL TALLO PRINCIPAL-DENSIDAD DE PLANTA**

2 dígitos	3 dígitos	Descripción
31	301	10% de plantas visibles entre líneas
33	303	30% de plantas visibles entre líneas
39	309	90% de plantas visibles entre líneas

**ESTADO 4: FORMACIÓN DE TUBÉRCULOS**

2 dígitos	3 dígitos	Descripción
40	400	Iniciación de la tuberización: engrosamiento de las primeras puntas de los estolones a 2 veces el diámetro del estolón.
43	403	30 % del total de la masa final del tubérculo alcanzada.
45	405	50 % del total de la masa final del tubérculo alcanzada.
47	407	70 % del total de la masa final del tubérculo alcanzada.
48	408	Máximo total de la masa final del tubérculo alcanzada.
49	409	Piel completamente desarrollada (piel del tubérculo no se elimina al tocar con los dedos). 95% de los tubérculos en este estado.

**ESTADO 5: EMERGENCIA DE LA INFLORESCENCIA**

2 dígitos	3 dígitos	Descripción
51	501	Primera yema individual (<2mm) de la primera inflorescencia visible (tallo principal)
55	505	Yemas de la primera inflorescencia alargada a 5 mm
59	509	Primeros pétalos de la flor de la primera inflorescencia visible
	521	Yemas individuales de la segunda inflorescencia visible (tallos secundarios)
	525	Yemas de la segunda inflorescencia alargada a 5mm
	529	Pétalos de la primera flor de la segunda inflorescencia visible por encima de los sépalos
	531	Yemas individuales de la tercera inflorescencia visible (tallos terciarios)
	535	Yemas de la tercera inflorescencia alargada a 5 mm
	539	Pétalos de la primera flor de la 3ª inflorescencia visible por encima de los sépalos
	5N	N inflorescencias emergidas
	5N9	N inflorescencias con pétalos de la primera flor por encima de los

#### ESTADO 6: FLORACIÓN

2 dígitos	3 dígitos	Descripción
60	600	Primeras flores abiertas en la parcela
61	601	Comienzo de floración: 10 % de las flores abiertas en la primera inflorescencia (tallo principal)
65	605	Plena floración: 50% de las flores abiertas en la primera inflorescencia
69	609	Fin de floración en la primera inflorescencia
	621	Comienzo 2ª floración: 10% flores abiertas de 2ª floración (ramas secundarias)
	625	Plena floración secundaria: 50% flores abiertas
	629	Fin de floración de la segunda inflorescencia
	631	Comienzo 3ª floración
	635	Plena floración 3ª
	639	Fin de floración de la 3ª inflorescencia
	6N	N inflorescencia florecida
	6N9	Fin de floración

#### ESTADO 7: DESARROLLO DEL FRUTO

2 dígitos	3 dígitos	Descripción
70	700	Primeras yemas visibles
71	701	10% de las bayas de la primera floración han conseguido su tamaño final (tallo principal)
75	705	50 % de las bayas en primera floración han conseguido su tamaño final (o se han desprendido)
79	709	90 % de las bayas en primera floración han conseguido el tamaño final (o se han desprendido)
	721	10 % de las bayas en la segunda floración han conseguido el tamaño final (ramas secundarias)
	7N	Desarrollo de bayas en la N fructificación
	7N9	Casi todas las bayas en la N fructificación han conseguido su tamaño final (o se han desprendido)

#### ESTADO 8: MADURACIÓN DE FRUTOS Y SEMILLAS

2 dígitos	3 dígitos	Descripción
81	801	Comienzo de la maduración o coloración de frutos
85	805	Continuación de la coloración de frutos según su especie/ variedad
88	808	Disminución de la consistencia del fruto
89	809	Maduración plena o de recolección. Fin de la coloración típica según la especie/ variedad

## ESTADO 9: SENESCENCIA

2 dígitos	3 dígitos	Descripción
91	901	Comienzo de amarilleamiento de las hojas
93	903	La mayoría de las hojas amarillas
95	905	50% de las hojas marrones
97	907	Hojas y tallos secos, tallos secos y rotos
99	909	Producto cosechado.