

MEMORIA LIBRE

“INFLUENCIA DE FACTORES AGRONÓMICOS, ALMACENAMIENTO Y FRITURA SOBRE EL POTENCIAL DE FORMACIÓN DE ACRILAMIDA EN PATATA”

FEADER 2022/051B



RESOLUCIÓN de 30 de diciembre de 2021, por la que se establecen las bases reguladoras de la concesión, en régimen de concurrencia competitiva, de las ayudas para la ejecución de proyectos de los grupos operativos de la Asociación Europea de Innovación (AEI), cofinanciadas con el Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural (Feader) en el marco del Programa de Desarrollo Rural (PDR) de Galicia 2014-2020, y tendrá una convocatoria para el año 2022 (código de procedimiento MR331B) (DOG nº18 del 27 de enero de 2022).

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	4
1.1. Orígenes de la patata	5
1.2. Propiedades de la patata	6
1.3. Requerimientos del cultivo de la patata	7
1.4. La producción de patata en España y Galicia.....	9
1.5. La acrilamida.....	10
2. OBJETIVOS Y DESARROLLO DEL PROYECTO.....	14
3. PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	18
3.1. Actividades desarrolladas.....	20
3.1.1. <i>Caracterización general del suelo antes del cultivo</i>	<i>20</i>
3.1.2. <i>Plan experimental de abonado.....</i>	<i>21</i>
3.1.3. <i>Seguimiento del cultivo y cosechado</i>	<i>23</i>
3.1.3.1. <i>Defectos en patatas causados por enfermedades.....</i>	<i>27</i>
3.1.4. <i>Almacenamiento de la patata. Determinación del porcentaje en materia seca y contenido en azúcares reductores</i>	<i>30</i>
3.1.5. <i>Proceso de fritura. Valoración del color y de la calidad de fritura</i>	<i>32</i>
3.1.6. <i>Cuantificación del contenido en acrilamida</i>	<i>36</i>
3.2. Fases de la planificación de las actividades y cronograma	37
4. CONTEXTUALIZACIÓN DE LAS ACTIVIDADES DEL PROYECTO.....	41
4.1. Entidad solicitante.....	41
4.2. Descripción de la zona de ensayo.....	43
4.3. Importancia de la producción de patata en A Limia	43
4.4. Importancia de la fertilización potásica en el cultivo de la patata	45
4.5. Variedad de patata empleada en el estudio: Agria	45
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	47
5.1. Análisis previos de las parcelas: caracterización del suelo, labores realizadas y abonado.....	47
5.2. Seguimiento del cultivo	49
5.3. Producción de la cosecha	52

5.4.	Calidad de la cosecha. Porcentaje de defectos y producción comercial	54
5.5.	Determinación del contenido en materia seca en la patata previa al almacenamiento	56
5.6.	Determinación del contenido azúcares reductores en la patata después del almacenamiento	57
5.7.	Determinación de acrilamida. Relación del contenido de acrilamida con el porcentaje en materia seca y azúcares reductores	61
5.8.	Determinación de la calidad en patata frita	63
5.8.1.	<i>Valoración del color como parámetro de calidad en patatas fritas</i>	63
5.8.2.	<i>Porcentaje de patatas fritas desechadas</i>	68
5.9.	Relación del contenido en acrilamida con el abonado, la temperatura de conservación y la temperatura de fritura.....	84
6.	CONCLUSIONES.....	87
6.5.	Conclusiones	87
6.6.	Beneficios que puedan derivar del proyecto: repercusión económica, medioambiental y social.....	88
7.	DIFUSIÓN DEL PROYECTO	90
8.	BIBLIOGRAFÍA.....	104

1. INTRODUCCIÓN

El proyecto “*INFLUENCIA DE FACTORES AGRONÓMICOS, ALMACENAMIENTO Y FRITURA SOBRE EL POTENCIAL DE FORMACIÓN DE ACRILAMIDA EN PATATA*” (FEADER 2022/051B) ha sido llevado a cabo por la entidad PATATAS Y CEBOLLAS GANDARA SC, dentro de las ayudas para la ejecución de proyectos de los grupos operativos de la Asociación Europea de Innovación (AEI), cofinanciados con el Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural (Feader) en el marco del Programa de Desarrollo Rural (PDR) de Galicia 2014-2020.

Para la ejecución del proyecto, se contó con la colaboración del *Centro Tecnolóxico da Carne (CETECA)*, como centro de investigación que da apoyo a la iniciativa, con la *Asociación de Empresarios, Gandeiros e Agricultores da Limia (ADEGAL)* y con la implicación directa del agricultor *Avelino Santana García*.

Patatas y cebollas Gándara SC es una empresa gallega (Vilar de Santos, Ourense) que se encarga del proceso de la venta y producción de patata desde la selección de semillas y variedades, incluyendo el abonado, cuidados necesarios y cosecha, hasta su almacenamiento y distribución, comercializando el producto con distintas finalidades (fresco, industria de fritura, etc.).

Por otra parte, el *Centro Tecnolóxico da Carne (CETECA)* lleva realizando trabajos de transferencia tecnológica e investigación en la comarca de A Limia desde su creación, colaborando en el desarrollo del medio rural y particularmente, del sector patatero, con agricultores, almacenistas y especialistas del sector. Por ello, posee una amplia experiencia en la temática del proyecto, con más de 80 actividades realizadas, que abarcan aspectos como la gestión de suelos, estudios de abonado, riego, etc., lo que les permite efectuar un asesoramiento de las tareas agronómicas. Además, dispone de una parcela de ensayos de 7,5 ha, destinada principalmente al cultivo de la patata, así como de cámaras de conservación y laboratorios para realizar todo tipo de determinaciones, tanto de caracterización de suelos como de la patata procesada.

Asimismo, *ADEGAL* es una asociación del sector primario, que lleva a cabo una labor de ayuda, gestión y mejora del medio rural a través de acciones de transferencia con ganaderos y agricultores, principalmente del sector de la patata, organizando actividades formativas con agricultores de la zona. En los últimos años, ha desarrollado varios proyectos destinados a la mejora de las explotaciones, modernizando el sector primario y colaborando en que su ejecución sea lo más rentable posible y respetuosa con el medio ambiente.

Finalmente, *Avelino Santana García* es un agricultor profesional dedicado al cultivo de la patata, además de otros cultivos como cereales y leguminosas. Gestiona una explotación con una producción anual de patata superior al millón de kg. Posee todas las instalaciones (almacén, invernadero...), así como la maquinaria necesaria, para desarrollar el proyecto. Tiene una trayectoria de más de 20 años en el cultivo de este tubérculo con diferentes variedades, sistemas de riego, fertilización, etc., además de diversas colaboraciones en proyectos de investigación.

1.1. Orígenes de la patata

La patata cultivada tiene más especies silvestres afines que cualquier otro cultivo, las cuales están ampliamente distribuidas en América, desde la región Suroeste de Estados Unidos hasta el sur de la cordillera Andina (López-Mateo, 2007).

Se cree que su cultivo se inició hace 7-10 mil años en la región del lago Titicaca en Perú/Bolivia (Hawkes, 1993). Fue introducida en España hacia 1570 y se extendió rápidamente por Europa en menos de un siglo. Las variedades cultivadas actualmente en la zona templada pertenecen a la especie *Solanum tuberosum* subsp. *tuberosum*, originaria de Chile (López-Mateo, 2007).

La patata es el cuarto cultivo alimentario más importante a nivel mundial, después del arroz, el maíz y el trigo (Saidi y Hajibarat, 2021). Existen alrededor de cinco mil variedades de patata y al menos tres mil de ellas se encuentran principalmente en Perú, Bolivia, Ecuador, Chile y Colombia (Hijmans y Spooner, 2001).

Del cultivo de la patata en Galicia se hace mención por primera vez en el año 1607. De acuerdo con el investigador Bouhier (1979), durante los siglos XVII-XVIII, su cultivo se redujo a pequeñas zonas en monasterios y casas nobles. En esta época, solamente en algunas parroquias de la provincia de Ourense hay constancia de ésta, en rotación con lino o cereal. Entre 1750-1765, la patata se producía en diversos lugares de Galicia, ocupando una superficie reducida. A partir de 1785, aumentan las referencias a este cultivo, dedicado principalmente a la alimentación porcina. Durante la primera mitad del siglo XIX, la patata continúa extendiéndose por Galicia, y en esta época, en el tercio norte de la actual provincia de Lugo, en las montañas orientales y en la Alta Limia, la totalidad de las parroquias cultivaban patatas (Bouhier, 1979).

A partir de 1850, un ataque de mildiu trajo como consecuencia la reducción de la superficie del cultivo y del número de variedades cultivadas. A partir de 1890, la expansión de la patata fue más rápida, reemplazando al barbecho en rotación con el centeno. Esta expansión fue posible, en parte, debido a la introducción de los abonos químicos, principalmente los superfosfatos, que se

aplicaban al centeno y permitían disponer de abono orgánico para aplicar a la patata, cultivo de segundo año en un sistema rotacional. Desde 1925, el cultivo experimentó un segundo desarrollo, y diez años después, la Alta Limia ya exportaba a Portugal patatas de consumo y de semilla (López-Mateo, 2007).

Desde el año 2018, está amparada por la Indicación Geográfica Protegida (IGP) “Patata de Galicia”, e incluye las variedades *Kennebec*, *Agria* y *Fina de Carballo*, destinadas al consumo humano (MAPA, 2018) (**Fig.1**).



Fig.1. Logotipo de la denominación IGP “Patata de Galicia” o “Pataka de Galicia”.

Fuente: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA).

https://www.mapa.gob.es/es/alimentacion/temas/calidad-diferenciada/dop-igp/hortalizas/IGP_patatagalicia.aspx

1.2. Propiedades de la patata

Las patatas son uno de los alimentos más consumidos y cultivados del mundo, dada su versatilidad, precio asequible y valor nutricional. Es la base de la alimentación de millones de seres humanos y contiene numerosos nutrientes esenciales.

Este tubérculo es una fuente de energía, aunque su aporte calórico depende de la manera de prepararlas y consumirlas. En la actualidad, alrededor del 2% de la energía alimentaria mundial procede de las patatas (Zaheer y Akhtar, 2016).

La composición nutricional de la patata depende de la variedad, el clima, el suelo y otros factores ambientales. Tiene un contenido aproximado del 20-22% de materia seca, de la cual un 82% son hidratos de carbono, principalmente almidón. También aporta diversas vitaminas (siendo una fuente de vitamina C, tiamina, niacina, riboflavina, ácido fólico), minerales (potasio, hierro, magnesio...), azúcares y fibra, así como metabolitos potencialmente beneficiosos para la salud (López-Mateo, 2007; Beals, 2018; Raigond *et al.*, 2023; Singh *et al.*, 2023).

Además, las patatas poseen proteínas y aminoácidos esenciales con un alto perfil nutricional, con concentraciones relativamente elevadas de lisina. El contenido de proteínas es de aproximadamente 2% del peso fresco. Actualmente, las propiedades tecnológicas de la proteína de patata presentan un gran interés en diversas industrias, como la alimentaria (Bhutto *et al.*, 2024).

Para su utilización en la industria de patatas fritas, **es de primordial importancia la calidad de los tubérculos**, en particular, el **porcentaje de materia seca** y la **concentración de azúcares reductores** (López-Mateo, 2007).

1.3. Requerimientos del cultivo de la patata

Las necesidades nutricionales de la patata varían a lo largo del desarrollo del cultivo, siendo críticas en la fase de desarrollo de los tubérculos.

El cultivo de patata requiere determinadas características del suelo. Los suelos más favorables para el desarrollo de este cultivo son los de textura franco-arenosa, con un buen nivel de materia orgánica y buena permeabilidad. Por el contrario, la planta no se desarrollará adecuadamente en suelos muy arcillosos y compactos. Así, para que el crecimiento de las raíces, se requiere un suelo suelto, friable, bien drenado y aireado, pero con un adecuado suministro de agua. Hay que tener en cuenta que con la mecanización se produce la compactación del terreno, lo que restringe el drenaje y la profundización de las raíces, pudiendo llegar a limitarse su desarrollo a los 40-50 cm superiores (Boone *et al.*, 1985; Stevens y Hammond, 1992).

En cuanto a las propiedades químicas, deben destacarse los valores de pH, capacidad de intercambio catiónico y riqueza en nutrientes.

La patata es un cultivo que tolera un pH bajo en el suelo. Según las investigaciones de Alonso-Arce (1996), el rango de pH óptimo para el cultivo de la patata puede establecerse entre 5,5-6,5, mientras que Porta *et al.* (1994) lo sitúan entre 4,5 y 7,0.

El pH influye en la disponibilidad de macro y micronutrientes. A pH ácido, se pueden presentar síntomas de deficiencia de calcio principalmente. Por el contrario, la disponibilidad de Mn, Zn y Cu, se reduce al aumentar el pH. Elementos tóxicos como Cd y Ni están más disponibles a pH ácido (López-Mateo, 2007).

El **nitrógeno** es el nutriente que más determina la producción vegetal, y en el caso de la patata, ejerce un importante papel en la producción y mantenimiento de la cubierta vegetal y el desarrollo de los tubérculos. La riqueza del suelo en nitrógeno está muy relacionada con su contenido de materia orgánica.

El **fósforo** es el segundo nutriente limitante de la producción (Jiménez-Aguilar, 1994), estimula el desarrollo del sistema radicular de la planta de patata (Domínguez-Vivancos, 1997) y acelera la maduración, contribuyendo a la tuberización y al desarrollo temprano de la cosecha. Ejerce, por otra parte, una gran influencia sobre los rendimientos, induciendo la formación de un mayor número de tubérculos por planta. Además, tiene una influencia favorable sobre aspectos de calidad (gusto, contenido en almidón, dureza de la piel).

Por su parte, el **potasio** juega un papel significativo en el mantenimiento del vigor de la planta de la patata. Ésta absorbe cantidades importantes de este elemento, **relacionado con la síntesis de azúcares y almidón**, y la translocación de estos carbohidratos (transportados por la planta a través del floema) y, por tanto, con la obtención de grandes producciones de patata (Rhue *et al.*, 1986; Westermann *et al.*, 1994b).

En el estudio llevado a cabo por López-Mateo (2007) sobre el cultivo de la patata en una parcela en la misma zona en la que se realizó el presente proyecto, se pone de manifiesto la importancia de la fertilización nitrogenada y potásica, así como las interacciones entre estos dos nutrientes.

Por otro lado, respecto a los micronutrientes, la patata no es un cultivo muy exigente en calcio, de ahí su buena adaptación a suelos ácidos. En cambio, el magnesio es esencial para la síntesis de proteínas y como activador de sistemas enzimáticos. Tiene sensibilidad media a la deficiencia de zinc, pero es altamente sensible a la deficiencia de manganeso. La deficiencia de zinc es común en suelos arenosos y pobres en materia orgánica (Alloway, 2008).

Los suelos gallegos normalmente son pobres en nutrientes, por lo tanto, suele ser necesario suministrar fertilizantes. Debe considerarse que la aplicación de altas dosis de los mismos a los suelos, con frecuencia muy permeables, puede llevar consigo riesgos de contaminación de acuíferos (López-Mateo, 2007).

Con respecto al clima, éste es un condicionante clave a la hora de determinar el desarrollo de la planta de patata y, por consiguiente, la producción de tubérculo. Así, el rango óptimo de temperatura para el desarrollo de la patata se sitúa en torno a 15-20°C, fijándose como valor de referencia 20°C de temperatura media durante la estación de crecimiento. Según Caldiz *et al.* (2002), el desarrollo no tiene lugar cuando la temperatura mínima está por debajo de 5°C o la

máxima por encima de 30°C. El efecto de la temperatura varía con el estado de desarrollo del cultivo (Jiménez-Aguilar, 1994). En lo que se refiere a la formación y desarrollo de los tubérculos, se ven favorecidos por temperaturas moderadamente frías de noche y moderadamente cálidas de día. La iniciación de la tuberización está favorecida por temperaturas inferiores a la óptima para la fotosíntesis, citándose como umbral superior para este proceso la temperatura de 20°C. Las altas temperaturas reducen la translocación de sustancias al tubérculo y favorecen el desarrollo de los tallos de la planta.

Además de la temperatura, la cantidad de agua con la que la planta cuenta para su desarrollo tiene un efecto determinante. La falta de agua suficiente causa una reducción en la producción de materia seca y limita el desarrollo del cultivo. En cambio, un exceso provoca un desarrollo vegetativo exuberante, un retraso en la tuberización y un descenso en el porcentaje de materia seca de los tubérculos (Van der Zaag, 1987; López-Mateo, 2007).

1.4. La producción de patata en España y Galicia

Según los datos del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA), España es el octavo productor de la UE de patata con casi el 5% del valor (566 millones de euros) de la producción europea en el año 2021 (MAPA, 2022).

La producción de patata fresca de consumo en España (con aproximadamente 2,15 millones de toneladas), se concentra fundamentalmente en la patata de media estación y en la tardía, representando ambas el 76% del total. El sector de la patata aporta a la producción vegetal el 1,7% y el 1% de la producción de la rama agraria (MAPA, 2022).

A pesar de que su producción en España muestra una ligera tendencia descendente en los últimos años, para la campaña 2023 aumentó levemente (un 2,4%) con respecto a la campaña anterior. El 77% de la producción nacional se concentra en cuatro Comunidades Autónomas: Castilla y León, Galicia, Andalucía y Murcia (MAPA, 2023).

Con respecto a Galicia, el sector de la patata es de gran importancia económica, siendo la superficie dedicada al cultivo de 17.770 ha en 2023, ocupando la primera posición nacional. En producción, ocupa el segundo lugar, con un 17,8% de la producción española total, aunque ésta descendió un 4,9% respecto al año anterior con 363.139 toneladas (MAPA, 2023).

A Limia, en la provincia de Ourense, **es la comarca de Galicia con más superficie dedicada al cultivo de la patata** (4.000-5.000 ha) (López-Mateo, 2007).

1.5. La acrilamida

La acrilamida es un compuesto tóxico no deseado que constituye un peligro químico en la cadena alimentaria. En 2015, la *Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria* (EFSA) publicó un informe de evaluación sobre la toxicidad y el riesgo de la acrilamida en los alimentos. En esta evaluación, se concluyó que existen pruebas sustanciales de la *genotoxicidad* (capacidad de dañar la información genética de las células) de la acrilamida, a través de la formación de su metabolito *glicinamida*, además de una posible contribución de efectos no genotóxicos a la *carcinogenicidad* (capacidad de causar cáncer) (EFSA, 2022; Benford *et al.*, 2010). Por tanto, altos niveles de acrilamida en los alimentos podrían conducir a un mayor riesgo de cáncer para todos los grupos de edad.

De todas formas, aunque este compuesto está clasificado como probable carcinógeno por diferentes organismos, hasta la fecha, los resultados sobre su efecto en humanos no son concluyentes en cuanto a su toxicidad (EFSA, 2015).

Recientemente, se han establecido medidas encaminadas a reducir los niveles de acrilamida en determinados alimentos tratados térmicamente (Reglamento UE 2017/2158).

Este compuesto está presente en una gran variedad de alimentos, y la preocupación por su presencia es especialmente importante en los niños, que son el grupo de edad más expuesto (por su menor peso corporal). Las patatas fritas, junto con el pan, las galletas y el café, son los alimentos que más aportan a la exposición de acrilamida en la población (**Fig. 2 y 3**).



Fig.2. Alimentos que contienen acrilamida.



Fig.3. Alimentos que contienen acrilamida.

Fuente: <https://www.fooddrinkurope.eu/resource/acrylamide-toolbox/>
Acrylamide Toolbox (Food Drink Europe)

Este hecho está estrechamente relacionado con su proporción en materia seca y su elevado contenido en azúcares reductores y asparagina. Estos compuestos son primordiales para el crecimiento de la planta, cuya concentración varía en función de la variedad de patata (Marchettini *et al.*, 2013).

Además, el contenido en azúcares reductores, depende de las condiciones del cultivo (abonado, riego...), de factores climáticos y de las condiciones de almacenamiento postcosecha (Low *et al.*, 2006). Aquellos tubérculos que son más pequeños o que no han alcanzado su punto óptimo de maduración, tienden a acumular mayores cantidades de azúcares reductores (Torres y Parreño, 2009).

Por otro lado, al aumentar el contenido de materia seca, se potencia la formación posterior de acrilamida. Durante almacenamientos prolongados (necesarios a nivel industrial para asegurar el abastecimiento de patata), se emplean temperaturas bajas para controlar el proceso de germinación, lo cual incrementa la actividad enzimática sobre el almidón, generando un aumento de la concentración de azúcares reductores (Knutsen *et al.*, 2009). Por lo tanto, es esencial encontrar las condiciones adecuadas durante la producción y almacenamiento de la patata, que limiten la formación de estos azúcares reductores.

Además, otro factor que tiene influencia en el contenido de acrilamida en patatas fritas es el cocinado (temperatura y tiempo). Esto es, cuanto más tiempo de fritura, menor es el contenido en humedad, y mayor la formación de acrilamida (**Fig.4**). Este compuesto se origina en alimentos ricos en almidón al cocinarlos a temperaturas superiores a 120°C y baja humedad, por la reacción de los aminoácidos libres (asparagina principalmente) con los azúcares reductores (D-Glucosa

y D-Fructosa) como parte de las reacciones de pardeamiento no enzimático o *reacciones de Maillard*. Estas reacciones son las responsables de las propiedades sensoriales de sabor y color en los alimentos ricos en almidón. Sin embargo, la reacción inducida por el calor entre los aminoácidos libres y los azúcares reductores es también el mecanismo principal para la formación de acrilamida (Elmore *et al.*, 2015; Genovese *et al.*, 2019).



Fig.4. Algunos de los alimentos que contienen acrilamida y colorimetría para detectar una mayor presencia en este compuesto según la temperatura y el tiempo de cocinado.

Fuentes: <https://www.ocu.org/alimentacion/seguridad-alimentaria/consejos/evitar-acrilamida-consejos>
AECOSAN (Agencia Española de Consumo, Seguridad Alimentaria y Nutrición)

Por tanto, el efecto de la temperatura y el tiempo sobre el contenido de acrilamida está asociado a una pérdida de humedad y a un aumento en la velocidad de estas reacciones, y, consecuentemente, se producen modificaciones en el color y sabor de los alimentos (Dunovská *et al.*, 2004).

En cuanto a las patatas fritas, las técnicas más comunes para prevenir la formación de acrilamida son la selección genética (variedades con menos azúcares reductores y cantidad de asparagina) y el seguimiento de las condiciones de postcosecha (Elmore *et al.*, 2015), además del control de la temperatura durante el proceso de fabricación. En este sentido, la EFSA recomienda no superar los 175°C en el proceso de cocción. Así, para evitar un elevado contenido de acrilamida en patata frita tipo *chips* no se debe sobrepasar esta temperatura desde el inicio de la fritura, e ir disminuyéndola hacia el final del proceso.

Investigaciones recientes sostienen que el efecto de la temperatura de fritura sobre la formación de este compuesto difiere en función de la variedad de patata empleada, de acuerdo a su contenido en azúcares y humedad (Yang *et al.*, 2016). Algunos estudios demostraron que

pequeñas variaciones en la temperatura pueden tener importantes consecuencias en la concentración final de acrilamida (Haase *et al.*, 2003).

Además, la concentración de acrilamida es mayor en la superficie que en el interior del tubérculo, ya que el contenido en humedad disminuye rápidamente a nivel superficial por evaporación, y es en esta zona donde se alcanzan, al freír la patata, con mayor velocidad las temperaturas a partir de las cuáles se forma. La distribución de la temperatura desde el exterior al interior de la patata está influenciada por la relación superficie/volumen, es decir, cuanto mayor es esta relación, mayor es la pérdida de humedad del producto y, por consiguiente, la temperatura alcanzada en el centro, dos factores relacionados con un riesgo más elevado de síntesis de acrilamida (Gökmen y Palazogly, 2009).

Las principales estrategias que se llevan a cabo actualmente para reducir la acrilamida en patatas fritas presentan algunas desventajas como largos tiempos de procesamiento, alto coste, modificaciones sensoriales negativas y difícil implementación a escala industrial. Por ello, a través del presente proyecto, **se han evaluado posibles métodos**, desde la producción de patata, que permitan **establecer recomendaciones** a agricultores y almacenistas, con el objetivo de **obtener patatas de calidad idóneas para freír y con una menor capacidad de formación de acrilamida (Fig.5)**.

Los conocimientos actuales en acrilamida indican que lo que se puede lograr depende en gran medida de las variaciones en la composición de las materias primas. Hemos intentado, por tanto, profundizar en el conocimiento de la **influencia de tres variables (prácticas agrícolas, almacenamiento post-cosecha y condiciones de fritura)** en el contenido de acrilamida en patatas fritas.



Fig.5. Cata de patatas fritas estilo *chips* realizada en el Laboratorio de Análisis Sensorial del Centro Tecnolóxico da Carne (CETECA), entidad participante en el presente proyecto.

Fuente: <https://ceteca.net/ctc/instalacions/laboratorio-de-analise-sensorial/>

2. OBJETIVOS Y DESARROLLO DEL PROYECTO

El cultivo de la patata representa la base socioeconómica de la comarca de A Limia, por lo que el presente proyecto pretende **contribuir al fortalecimiento del sector primario y secundario** de la zona, mediante la optimización de las prácticas agrícolas y de conservación de la patata que minimicen la presencia de los compuestos precursores de la acrilamida.

Las herramientas propuestas en el presente proyecto son posibles medidas diseñadas para **limitar los niveles de acrilamida en el producto final**, mediante intervenciones en varias etapas de producción (agronómica, almacenamiento y procesamiento).

Esto es, se pretendió encontrar la **combinación ideal entre el tipo de abonado, las condiciones de almacenamiento post-cosecha y los parámetros de fritura** que aseguren, además de la reducción de este compuesto, la obtención de patatas fritas que cumplan con los estándares de calidad.

Por otro lado, aunque esta comarca está principalmente centrada en la producción de patata, el conocimiento generado también tendrá un impacto potencial en las industrias de transformación, que podrán mejorar el proceso de fabricación de patatas fritas (**Fig.6**). De esta forma, estas empresas podrán elaborar un producto con niveles reducidos de acrilamida, en la medida de lo posible, a partir de la materia prima local, producida según las recomendaciones y manteniendo las propiedades organolépticas.



Fig.6. Proceso industrial de fabricación de patatas fritas.

Fuente: Las chips prodigiosas: cómo se hacen las patatas fritas de bolsa | El Comidista | EL PAÍS
https://elpais.com/gastronomia/el-comidista/2013/10/09/articulo/1381294800_138129.html#

Después de lo anteriormente descrito, el **objetivo principal** de este proyecto fue la obtención de patatas con un menor contenido en azúcares reductores, que se traduzca en una disminución en la formación de acrilamida tras el proceso de fritura, esto es, **reducir la exposición al contenido de acrilamida del consumidor de patatas fritas**.

Para lograr este objetivo general, se plantearon los siguientes **objetivos parciales**:

1. Estudiar la **influencia de las prácticas de abonado del cultivo de patata** en el contenido en compuestos precursores de la acrilamida (principalmente azúcares reductores). Más concretamente, se evaluó, durante la primera anualidad, la **aplicación de diferentes niveles de potasio durante el abonado del cultivo**, para establecer el contenido óptimo de este elemento que permita obtener una buena producción de tubérculos en la variedad de patata objeto de estudio (Agria), tanto en calidad como en cantidad, reduciendo, en la medida de lo posible, la proporción de materia seca y azúcares reductores.
2. Optimizar las condiciones de conservación post-cosecha, encontrando una **temperatura de almacenamiento idónea** para la variedad de patata Agria, que asegure una correcta conservación y minimice la concentración de azúcares reductores, sin que suponga una merma en la calidad del producto. Para ello, se consideraron diferentes condiciones de almacenamiento para evaluar cuál era la más adecuada para patatas destinadas a fritura.
3. Evaluar la **temperatura del proceso de fritura** como una variable importante en cuanto a la formación de acrilamida, procurando establecer un valor que minimice la concentración de este compuesto, asegurando las características organolépticas deseadas por el consumidor, esto es, sin que suponga una pérdida de calidad. Además, se determinaron los parámetros de color de las muestras de patatas fritas con el fin de establecer una correlación con el contenido en acrilamida.

El desarrollo de diferentes métodos para reducir la formación de este compuesto y, al mismo tiempo, mantener una calidad aceptable del producto final, es un reto para la industria agroalimentaria. Es fundamental considerar que la eliminación total de la acrilamida de los alimentos es prácticamente imposible, por lo que la finalidad debe ser procurar reducir la cantidad generada. Teniendo en cuenta las medidas que se van a considerar para ello, cabe destacar que son una modificación del proceso productivo actual, por lo que no conllevarían grandes inversiones ni costes de implementación, como tampoco supondrían reemplazos de los equipos de la planta de transformación.

4. Finalmente, se llevó a cabo una **transferencia de los resultados obtenidos** entre los agricultores e industriales del sector patatero gallego mediante su divulgación, en jornadas, así como en publicaciones en revistas digitales.

Los conocimientos generados en el desarrollo de esta investigación podrán incorporarse al documento o *toolbox* que engloba todos los conocimientos sobre la formación y mitigación de acrilamida en una variedad de productos alimentarios, y que es actualizada por la organización que representa la industria europea de alimentación y bebidas (*Food Drink Europe*) (*Acrylamide Toolbox*, 2019).

Por otro lado, cabe destacar que se realizó un manejo adecuado de los planes de fertilización del cultivo, con pequeñas modificaciones en relación a los tratamientos tradicionales, para evaluar su influencia sobre el contenido en compuestos precursores de la acrilamida. No obstante, tuvieron siempre en cuenta las recomendaciones agronómicas que permitan preservar los recursos naturales de la zona de cultivo.

Por tanto, estos ensayos **no causaron perjuicio** significativo alguno a los siguientes **objetivos ambientales** (Reglamento UE 2020/850):

1. Mitigación del cambio climático. Esta actividad no causó ningún daño significativo en este aspecto, ya que no produjo importantes emisiones de gases de efecto invernadero.
2. Adaptación al cambio climático. En nuestro caso, los ensayos llevados a cabo no tuvieron un impacto adverso del clima actual y futuro, sobre la propia actividad, las personas o la naturaleza.
3. Uso sostenible y protección de los recursos hídricos. Esta actividad no fue perjudicial para el buen estado de las masas de agua.
4. Transición a la economía circular. Los experimentos realizados no produjeron ningún daño significativo a la economía circular, incluyendo la prevención y el reciclaje de residuos, el uso ineficiente de materiales o de recursos naturales, ni aumentó la generación, incineración o eliminación de residuos, así como daños ambientales importantes.
5. Prevención y control de la contaminación a la atmósfera, el agua o el suelo. La actividad desarrollada no fue perjudicial en este aspecto.
6. Protección y restauración de la biodiversidad y el ecosistema. Los estudios realizados en este proyecto no fueron nocivos para el buen estado de los ecosistemas, o para el estado de conservación de los hábitats y especies.

De esta forma, este estudio contribuye a un objetivo medioambiental, de conformidad con el **Reglamento de Taxonomía de la UE** (Reglamento UE 2020/850) (artículos 10 a 16). Dicho Reglamento tiene como finalidad alcanzar una sostenibilidad que sea medible y comprobable.

El Reglamento de Taxonomía de la UE establece un marco claro para establecer si una organización o entidad es realmente sostenible y sustentable en términos de su Gestión Ambiental y sus esfuerzos de Responsabilidad Social. Se deberá cumplir con el principio de “no causar perjuicio significativo al medioambiente” (en inglés, *Do No Significant Harm-DNSH*).

En nuestro caso, se considera que cumple con dicho principio, en lo que respecta a los diferentes objetivos en cuestión. El cumplimiento del *principio DNSH obliga a realizar una autoevaluación* que asegure que la inversión o reforma no afecta negativamente a uno, o varios, de los objetivos medioambientales citados previamente (*Guía técnica sobre la aplicación del principio de “no causar un perjuicio significativo” en virtud del Reglamento relativo al Mecanismo de Recuperación y Resiliencia (2021/C 58/01)*).

3. PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO

Se planificaron las actividades principales del proyecto en distintas reuniones iniciales.

Desde el punto de vista agronómico, todos los participantes en el proyecto cuentan con **amplia experiencia en el desarrollo del cultivo de patata**.

Así, *PATATAS Y CEBOLLAS GANDARA SC*, que participó como líder del proyecto, posee una larga trayectoria dentro del sector agrícola. Se trata de una importante empresa almacenista en A Limia. Por ello, se encargó de la búsqueda de insumos necesarios para la siembra del cultivo en la parcela de ensayos. Fue la principal responsable de las labores de coordinación y gestión del proyecto, así como de la organización de las demás entidades participantes y sus respectivas tareas, mediante reuniones de inicio y seguimiento del proyecto. Además, participó en acciones de difusión y presentación del proyecto, y de transferencia al sector primario.

El *Centro Tecnolóxico da Carne (CETECA)*, es un organismo con experiencia en el sector primario y en la transformación agroalimentaria. Tiene adscrita una parcela de más de 7 ha, situada en Sandiás (Ourense, comarca de A Limia), en la antigua Laguna de Antela, que reúne las condiciones idóneas para la realización de los ensayos de cultivo de este tubérculo (**Fig.7**).



Fig.7. Parcela del *Centro Tecnolóxico da Carne (CETECA)* destinada a realizar ensayos de cultivos para los proyectos de investigación.

Fuente: <https://ceteca.net/ctc/instalacions/terreo-de-ensaios/>

Este centro fue el encargado de la búsqueda y delimitación del terreno de ensayos dentro de dicha parcela y del asesoramiento agronómico del cultivo de patata, así como todas las tareas de campo, tomando las muestras de suelo para análisis (realizando una caracterización general de los mismos) y el cálculo de las necesidades de fertilización y encalado, previamente a la

siembra de la patata. También fue el responsable del análisis de calidad de cosechas y de la elaboración del cuaderno de campo. Asimismo, se ocupó de la búsqueda y compra de suministros necesarios para cada campaña.

Por otro lado, el *CETECA* dispone de cámaras de conservación y de una planta piloto de 500 m² totalmente equipada para todo el procesado de las materias primas (**Fig.8**). También cuenta con laboratorios dotados de los equipos y el personal necesarios para el análisis posterior de las muestras.



Fig.8. Planta piloto del Centro Tecnológico da Carne (*CETECA*).
Fuente: <https://ceteca.net/ctc/instalacions/planta-piloto/>

Participó en las pruebas de conservación en las cámaras de almacenamiento y en los ensayos de fritura empleando el equipamiento de su planta piloto. A continuación, llevó a cabo los análisis de calidad de la materia prima y el producto. Realizó la recopilación final de los resultados, su análisis estadístico y la redacción de la documentación justificativa (informes de resultados de dichos análisis y de la memoria final). Finalmente, colaboró en las acciones de difusión de los resultados del proyecto desde su oficina de proyectos.

Por su parte, el agricultor *Avelino Santana García* fue el encargado de realizar las labores agrícolas en la parcela anteriormente citada del *CETECA*, preparando la parcela antes de la siembra y participando en los ensayos planificados en campo.

Por último, las principales labores de *ADEGAL* fueron la coordinación y organización de tareas de difusión del proyecto (en páginas web, prensa...), así como la transferencia de resultados al sector primario. También participó en los ensayos de campo planificados.

3.1. Actividades desarrolladas

Las tareas de investigación y desarrollo tecnológico llevadas a cabo se engloban dentro de los siguientes puntos:

3.1.1. Caracterización general del suelo antes del cultivo

Previamente al cultivo de la patata, se realizó un **análisis de las condiciones iniciales del suelo**, para evaluar las necesidades nutricionales del mismo. Todos estos análisis se hicieron en los laboratorios del *Centro Tecnolóxico da Carne (CETECA)*.

Para ello, se analizó el **pH en agua** con un pH-metro, empleando una relación suelo-disolución de 1:2,5, y con un tiempo de equilibrio de 10 minutos, agitando repetidas veces durante este tiempo y durante la medición (Gutián y Carballas, 1976).

La **materia orgánica** se calculó como pérdida por ignición. Para ello 10 g de suelo se calcinaron en horno de mufla a 450°C durante un mínimo de 4 h.

Para la determinación de **fósforo asimilable**, se siguió el *método Olsen* (Olsen y Sommers, 1982), en el que se extrae el fósforo con NaHCO_3 0,5 M a pH 8,5, y a continuación se midió el fósforo extraído mediante espectrofotometría visible.

Finalmente, los **cationes de cambio** (calcio, magnesio, sodio y potasio) se desplazaron con una disolución no tamponada de NH_4Cl 1M (Peech *et al.*, 1947), y en el extracto se determinaron por espectroscopía de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente (ICP-OES, por sus siglas en inglés), empleando el equipo *Perkin Avio 220 Max ICP-OES*. Esta es una de las técnicas más usadas para determinar trazas de elementos en una gran variedad de matrices (**Fig.9**).



Fig.9. Equipo *Perkin Avio 220 Max ICP-OES*, empleado para la determinación de elementos (Ca, Mg, Na, K), situado en un laboratorio del *Centro Tecnolóxico da Carne (CETECA)*.

Fuente: <https://www.perkinelmer.com/es/product/avio-220-max-scott-cross-flow-system-n0790004>

3.1.2. Plan experimental de abonado

Se realizó el cultivo de diferentes variedades de patata en parcelas de 6 m de ancho x 10 m de largo, con pasillos de 1 m de separación, con **4 repeticiones** (réplicas). Como se hicieron **4 ensayos diferentes de abonado**, en total resultaron **16 parcelas** de estudio.

La distribución y el diseño de las parcelas puede verse en la **Fig.10**. La preparación del terreno se llevó a cabo antes de la siembra de la patata (**Fig.11 y 12**).

En las parcelas de ensayo se probaron **4 tratamientos fertilizantes con diferentes niveles de potasio** (Tablas 1 y 2):

- **Sin aporte de potasio en el abonado:** 750 kg/ha de sulfato amónico (N-26) y 550 kg/ha de superfosfato del 18%.
- **Nivel de aporte de potasio bajo:** 1.300 kg/ha de NPK 13/10/10 y 200 kg/ha de sulfato amónico (N-26) y **250 kg/ha de sulfato potásico** (30% de K₂O) y 10% de sulfato magnésico.
- **Nivel de aporte de potasio medio:** 1.300 kg/ha de NPK 13/10/10, 200 kg/ha de sulfato amónico (N-26) y **500 kg/ha de sulfato potásico** (30% de K₂O) y 10% de sulfato magnésico.
- **Nivel de aporte de potasio alto:** 1.300 kg/ha de NPK 13/10/10, 200 kg/ha de sulfato amónico (N-26) y **1000 kg/ha de sulfato potásico** (30% de K₂O) y 10% de sulfato magnésico.

Tabla 1. Dosis de abonado potásico en las parcelas de ensayo.

APORTE DE POTASIO	kg/ha
SIN APOORTE	0
DOSIS BAJA	250
DOSIS MEDIA	500
DOSIS ALTA	1000

HIDRANTE	6m	6m	6m	6m
	A-1	A-5	A-10	A-14
10m				
	A-11	A-2	A-6	A-13
10m				
	A-15	A-8	A-3	A-12
10m				
	A-9	A-7	A-16	A-4
10m				
	FONDO PARCELA			

Fig.10. Diseño de las parcelas en el terreno de ensayos del *Centro Tecnológico da Carne (CETECA)* (Sandiás).

Tabla 2. Distribución de las dosis de abonado potásico en las parcelas de ensayo.

PARCELA	Dosis potasio (kg/ha)
A-1	SIN POTASIO
A-2	
A-3	
A-4	
A-5	250
A-6	
A-7	
A-8	
A-9	500
A-10	
A-11	
A-12	
A-13	1000
A-14	
A-15	
A-16	



Fig.11. Preparación de las parcelas en el terreno de ensayos del *Centro Tecnolóxico da Carne (CETECA)* (Sandiás)



Fig.12. Preparación de las parcelas en el terreno de ensayos del *Centro Tecnolóxico da Carne (CETECA)* (Sandiás)

3.1.3. Seguimiento del cultivo y cosechado

Durante todo el ciclo del cultivo, se llevó a cabo un seguimiento exhaustivo de la evolución de la planta, con visitas frecuentes al campo (**Fig.13 a 16**).

Se estudiaron las características cualitativas y cuantitativas de los tubérculos cosechados y el análisis de la **producción bruta y comercial** (**Fig.17**).



Fig.13. Nascencia de las plantas de patata en el terreno de ensayos del del *Centro Tecnológico da Carne (CETECA)* (Sandiás)



Fig.14. Desarrollo de las plantas de patata sembradas en el terreno de ensayos del del *Centro Tecnológico da Carne (CETECA)* (Sandiás) el 26 de junio de 2023.



Fig.15. Desenvolvemento das plantas de patata sembradas no tereno de ensaios do do Centro Tecnolóxico da Carne (CETECA) (Sandiás)



Fig.16. Cosechado das patatas sembradas no tereno de ensaios do do Centro Tecnolóxico da Carne (CETECA) no mes de setembro de 2023.



Fig.17. Cálculo de produción bruta, produción comercial y análisis de la calidad de la cosecha.

Además, se determinó el **porcentaje en materia seca** de las patatas. Este porcentaje se calculó en función del contenido en humedad. Esto se realizó empleando un liofilizador de laboratorio, por diferencia de peso antes y después de introducir la muestra en el mismo. Para ello, en cada caso se tomó una muestra de patata de aproximadamente 30-40 g. La liofilización, también conocida como criodesecación o secado por frío, es un proceso de deshidratación a baja temperatura que implica congelar la muestra y reducir la presión, eliminando así el hielo por sublimación.

Por último, se analizó la **calidad de la cosecha** mediante el **porcentaje de defectos**:

- **Defectos debidos a factores ambientales/externos:** agrietados, segundos crecimientos, tubérculos agujereados, manchas, verdeo, patatas huecas (“corazón hueco”), patatas roídas y afectadas por daños mecánicos (**Fig.18**).

- **Defectos debidos a enfermedades:** causados por enfermedades bacterianas, fúngicas y virales.



Fig.18. Defectos en patatas debido a factores externos: patatas con verdeo, debido a la producción de solanina, por exposición del tubérculo a la luz solar.

Fuente: <https://www.lavanguardia.com/comer/materia-prima/20200909/33205/patatas-brotes-zonas-verdes.html>

3.1.3.1. Defectos en patatas causados por enfermedades

Las **enfermedades** que se pueden encontrar habitualmente en el tubérculo de la patata, algunas de las cuales se pudieron observar en las patatas cosechadas, se describen a continuación:

- **Sarna común.** Esta enfermedad está provocada por la bacteria *Streptomyces scabies*. Pueden aparecer dos tipos de sarna común en los tubérculos: uno de ellos produce manchas marrones, más o menos grandes y con textura corchosa (en algunos casos más extremos, esta enfermedad traspasa la piel y deja profundos ojos en el tejido); el otro tipo es más superficial, causando lesiones como pequeñas zonas rugosas (a veces, con ligeras protuberancias), que pueden ser tan numerosas que lleguen a cubrir toda la superficie de la patata (MAPA, 2005) (**Fig. 19**).

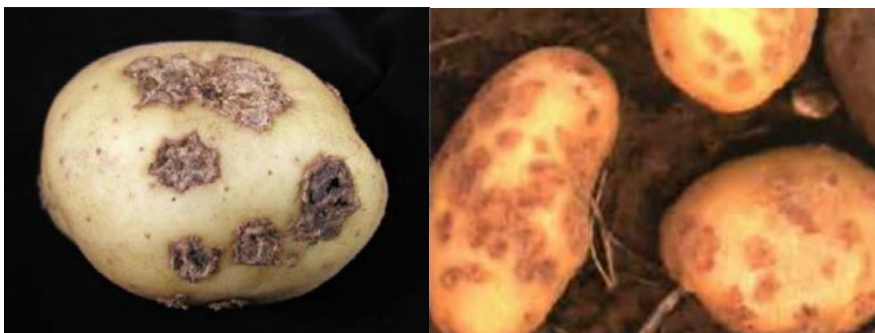


Fig.19. Patatas afectadas por sarna común.

Fuente: *Bacterias de cuarentena que afectan al cultivo de la patata* (MAPA, 2005).

https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_Vrural/Vrural_2005_213_16_20.pdf

- **Rizoctoniasis.** Está causada por el hongo *Rhizoctonia solani*. En la superficie de los tubérculos se observan manchas o costras de color oscuro, de tamaño y forma irregulares. Estas manchas pueden retirarse fácilmente al frotarlas o rasparlas (**Fig.20 y 21**).



Fig.20. Patatas afectadas por el hongo *Rhizoctonia solani*.

Fuente: <https://blog.potatoworld.eu/fungus-diseases-rhizoctonia-canker-black-scurf-in-potatoes>



Fig.21. Patatas afectadas por el hongo *Rhizoctonia solani*.

Fuente: <https://patatadesiembra.es/la-sarna-de-las-patatas>

- **Podredumbre seca.** Provocada por distintas especies de *Fusarium* (Fig.22 y 23), las cuales provocan síntomas diferentes: generalmente, se desarrollan podredumbres secas alrededor de una herida que conducen a la deshidratación del tubérculo. Se produce frecuentemente cuando la patata está afectada por daños mecánicos, bien sea en el cosechado o durante el almacenaje.



Fig.22. Patatas afectadas por el hongo *Fusarium sulphureum*.

Fuente: <https://patatadesiembra.es/enfermedades-de-la-patata-fusarium-o-podredumbre-seca>



Fig.23. Patatas afectadas por el hongo *Fusarium avenaceum*.

Fuente: <https://patatadesiembra.es/enfermedades-de-la-patata-fusarium-o-podredumbre-seca>

- **Sarna Plateada.** Esta enfermedad está causada por el hongo *Helminthosporium solani*. Este tipo de sarna es fácilmente reconocible por su característico brillo plateado (Fig.24). Puede oscurecerse cuando se propaga, y causar una fuerte deshidratación (y, en consecuencia, un arrugado) de la patata.



Fig.24. Patatas afectadas por sarna plateada.

Fuente: <https://patatadesiembra.es/la-sarna-de-las-patatas>

3.1.4. Almacenamiento de la patata. Determinación del porcentaje en materia seca y contenido en azúcares reductores

Tras la recolección y determinación de la producción y calidad de las patatas, todas las muestras obtenidas se llevaron al almacén y se conservaron durante **al menos dos meses** en cámaras del CETECA, con un porcentaje de humedad aproximado del 90%, a **3 rangos de temperaturas diferentes (Fig.25 y 26)**.

La temperatura y la humedad en la cámara se mantuvieron estables y homogéneas, mediante el uso de sistemas de enfriamiento y ventilación adecuados, así como mediante el mantenimiento regular de la cámara frigorífica para garantizar su correcto funcionamiento.

La ventilación es indispensable para mantener en buenas condiciones la cosecha y evitar podredumbres debidas a la condensación del agua. Así, al dejar circular el aire, se mantiene un nivel adecuado de humedad. Además, la ventilación también ayuda a regular la temperatura en el almacenamiento y a prevenir la formación de hongos y otros problemas de calidad en las patatas.



Fig.25. Almacenamiento de patatas en cámaras a diferentes temperaturas. Instalaciones del Centro Tecnolóxico da Carne (CETECA).



Fig.26. Condiciones de almacenamiento de las patatas en una cámara del Centro Tecnolóxico da Carne (CETECA).

Según el *Reglamento CE 2017/2158*, en el que se establecen las medidas de mitigación para reducir la presencia de acrilamida en alimentos, la temperatura debe ser apropiada para la variedad de patata almacenada, y superior a 6°C. Teniendo esto en cuenta, en el proyecto se evaluó la influencia sobre la calidad del tubérculo de los siguientes **rangos de temperaturas de conservación**: de **0 a 4°C** (condiciones de refrigeración), de **6 a 8°C** (condiciones de conservación habitual en patata) y de **14 a 18°C** (temperatura ambiente, simulando una nave sin condiciones de climatización).

Tras este período de conservación establecido en cada caso, se determinó el **porcentaje en azúcares reductores**, con el fin de correlacionar este parámetro con el **porcentaje en materia seca**, con la cantidad de potasio añadida en el abonado y con la acrilamida generada posteriormente en el proceso de fritura.

El **porcentaje en azúcares reductores** se determinó siguiendo el *método Luff-Schoorl*, el cual consiste en una extracción con *reactivo Carrez* y para posteriormente, realizar una valoración con sulfato sódico empleando un valorador automático. Este procedimiento se llevó a cabo en el **laboratorio de físico-química** del **CETECA**.

3.1.5. *Proceso de fritura. Valoración del color y de la calidad de fritura*

Como ya hemos mencionado, el efecto de la temperatura de cocinado y el tiempo sobre el contenido de acrilamida está asociado a una pérdida de humedad y a un aumento de la velocidad de las *reacciones de Maillard*.

La Comisión del *Códex Alimentarius* (2009) recomienda, para obtener reducciones importantes en el contenido de acrilamida en patatas fritas, que la temperatura del aceite al empezar a freír no debe ser superior a 170-175°C, y que las patatas deben freírse hasta obtener un color amarillo dorado, en lugar de marrón dorado.

La formación de este compuesto es considerada un fenómeno de superficie, ya que es donde se alcanzan con mayor rapidez las temperaturas a partir de las cuáles se forma. En este experimento, se hicieron pruebas con el tipo de corte más común en la industria de las patatas fritas: **estilo *chips* o patatas inglesas**, cortadas en finas láminas. Sobre éstas se **ensayaron dos temperaturas diferentes de fritura: 165 y 190°C**.

Para ello, se partió de una muestra de 5 o 6 tubérculos (según tamaño), se pelaron, lavaron y se cortaron en láminas (*chips*) de entre 1,4 y 1,7 mm (**Fig.27 y 28**).

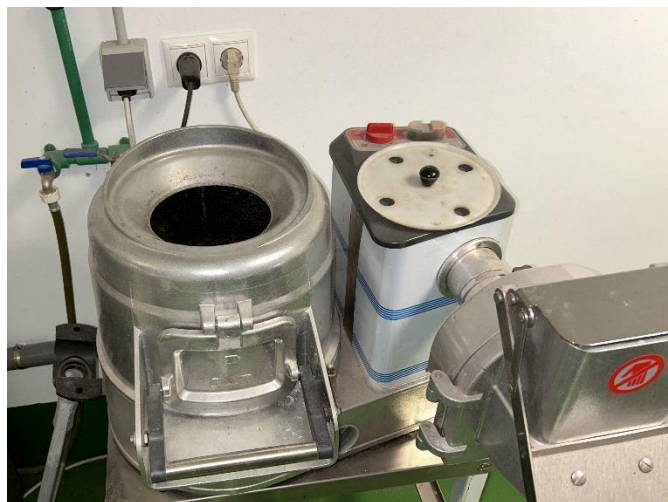


Fig.27. Peladora de patatas industrial, situada en el *Centro Tecnolóxico da Carne (CETECA)*.



Fig.28. Lavado de las patatas antes de la fritura.

Se puso el aceite en la freidora, y se calentó hasta que alcanzar la temperatura de fritura adecuada (165 o 190°C) (**Fig.29**). A continuación, se introdujeron las patatas en la freidora, quedando estas completamente cubiertas de aceite. Se apagó el fuego y se dejaron transcurrir unos 3 minutos (hasta que el aceite no burbujee), para sacarlas justo después (**Fig.30**). Así, las patatas pierden toda el agua que contenían, sustituyéndola por aceite y adquiriendo la consistencia crujiente que las caracteriza (Borruey *et al.*, 2000). Todo este proceso realizó en las instalaciones de las que dispone la **planta piloto del CETECA (Fig.31)**.



Fig.29. Calentamiento del aceite, hasta llegar a la temperatura adecuada, en las freidoras en la planta piloto del Centro Tecnolóxico da Carne (CETECA).



Fig.30. Fritura de las patatas fritas por una operaria del Centro Tecnolóxico da Carne (CETECA), en la planta piloto del mismo.



Fig.31. Patatas fritas obtenidas tras haber sido sometidas al proceso de fritura.

Tras el tratamiento térmico, también se evaluó la **calidad del tubérculo frito** (valoración del color del frito y porcentaje frito desechable) (**Fig.32**).



Fig.32. Bandejas con patatas fritas, en las que se pueden observar, a simple vista, las diferencias de color debidas al abonado, a las distintas temperaturas de almacenamiento y de fritura (blanca: 165°C; negra 195°C). Instalaciones en planta piloto del *Centro Tecnolóxico da Carne (CETECA)*.

Para la **valoración del color del producto frito**, se asignó a cada muestra una puntuación comprendida entre 1 y 9, en la que, en el rango de 1-4 se indicó que la muestra no era aceptable, (por su color marrón oscuro), de 5-6 aunque era aceptable, aunque poseía un color dorado fuerte, y de 7-9 se obtuvo un color más dorado pálido, esto es, de aspecto deseable (López-Mateo, 2007) (**Fig.33**).



Fig.33. Comparativa de bandejas con patatas fritas, en las que se pueden observar, a simple vista, las diferencias de color debidas al abonado, a las distintas temperaturas de almacenamiento y de fritura (blanca: 165°C; negra 195°C).

El **porcentaje de frito desechable** se calculó después de hacer la valoración, pesando las patatas *chips* que serían desechables con respecto al total.

3.1.6. Cuantificación del contenido en acrilamida

Tras el proceso de fritura, se cuantificó el contenido de acrilamida en cada uno de los lotes obtenidos. Para ello, previamente todas las muestras se trituraron hasta conseguir un polvo fino y homogéneo (**Fig. 34**).

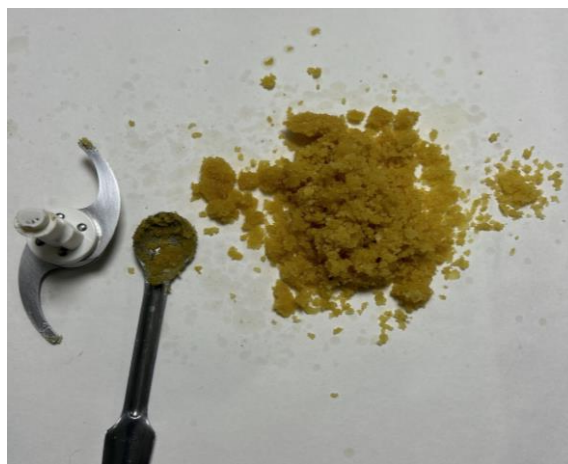


Fig.34. Triturado de patatas fritas en polvo, para mayor homogeneidad en el posterior proceso de extracción y determinación de acrilamida.

La **determinación de acrilamida** en las muestras de patata se llevó a cabo en el laboratorio de cromatografía del CETECA, siguiendo el **método de extracción QuEChERS** (*Quick, Easy, Cheap, Effective, Rugged and Safe*). Se trata de un método que disminuye la cantidad de solventes a utilizar, los costes, el tiempo de respuesta y la eficacia en la extracción.

Combina una **etapa de extracción** simple y una segunda etapa de extracción dispersiva en fase sólida (dSPE), junto con un protocolo de limpieza de muestra, que obtiene recuperaciones excelentes y una eliminación adecuada de interferencias (Anastassiades *et al.*, 2003).

Más detalladamente, en una primera etapa, se realiza la extracción con un disolvente orgánico, en este caso acetonitrilo, en presencia de sales (sulfato de magnesio, que retiene agua y facilita la extracción, y cloruro sódico, el cual favorece la separación de las fases y hace que la solubilidad del analito disminuya en la fase acuosa). La segunda etapa de este método consiste en un *clean-up* o limpieza del extracto mediante una

dSPE. Las sales y sorbentes empleados en esta fase son sulfato de magnesio anhidro (elimina el agua), amina primaria/secundaria PSA (elimina ácidos grasos, ácidos orgánicos, azúcares y pigmentos).

Finalmente, **se determinó y cuantificó el contenido en acrilamida** en las muestras mediante Cromatografía Líquida de Alta Resolución (UHPLC: *Ultra High Performance Liquid Chromatography*) acoplada a espectrometría de masas (UHPLC-MS/MS), con un detector triple cuadrupolo (equipo *AGILENT 1290 INFINITY II UHPLC 6470 Triple Quad LC/MS*) (**Fig.35**).

Las condiciones cromatográficas fueron: columna *Agilent Zorbax SB-Aq* (4,6 x 150 mm), flujo de 0,2 mL/minuto, volumen de inyección de muestra de 10 µL y temperatura del horno de 30°C. Como fases móviles se emplearon, agua calidad LC/MS con ácido fórmico al 0,1% (fase A) y metanol (fase B) en proporciones Fase A: 97,5% y Fase B: 2,5%.



Fig.35. Equipo empleado para la determinación de acrilamida en las muestras de patata (*AGILENT 1290 INFINITY II UHPLC 6470 Triple Quad LC/MS*), situado en el laboratorio de cromatografía del Centro Tecnológico da Carne (CETECA).

Fuente: <https://www.agilent.com/en/product/liquid-chromatography-mass-spectrometry-lc-ms/lc-ms-instruments/triple-quadrupole-lc-ms/6475-triple-quadrupole-lc-ms>

3.2. Fases de la planificación de las actividades y cronograma

La duración del proyecto fue de 36 meses, iniciándose el 1 de octubre de 2021 y con finalización el 30 de septiembre de 2024. El esquema de los ensayos llevados a cabo se organizó en **7 fases** diferenciadas que se describen a continuación, detallándose las actividades realizadas e indicando qué entidad de las participantes es la responsable de su ejecución.

- **FASE 1: Selección y preparación de las parcelas de ensayo.** Se hizo un análisis previo del suelo de las parcelas para evaluar su estado inicial, con el objetivo de alcanzar las condiciones adecuadas para el posterior cultivo de la patata. En esta fase, colaboraron el *CETECA*, realizando el muestreo de suelo y la caracterización del mismo en sus laboratorios, y el agricultor *Avelino Santana García*, llevando a cabo todas las acciones necesarias para la preparación de las parcelas.
 - ✓ TAREA 1.1.- Preparación de las parcelas de ensayo (arado y afinado) (OCTUBRE 2022-ABRIL 2023).
 - ✓ TAREA 1.2.- Caracterización de los suelos mediante su análisis (DICIEMBRE 2022-ENERO 2023).
- **FASE 2: Realización del abonado de fondo**, según el plan experimental detallado. Este procedimiento se llevó a cabo antes de la siembra, con el fin de aportar al cultivo una reserva de nutrientes que cubra todo el ciclo vegetativo. El agricultor *Avelino Santana García* fue el responsable de esta actividad, con el asesoramiento del *CETECA*.
 - ✓ TAREA 2.1.- Fertilización de cada una de las parcelas en función del plan experimental elaborado previamente (MARZO 2023- ABRIL 2023).
- **FASE 3: Cultivo de patatas variedad Agria.** La siembra se realizó en ABRIL DE 2023 y se hizo un exhaustivo seguimiento mediante el empleo de un cuaderno de campo donde se anotaron los diferentes tratamientos aplicados, así como incidencia de enfermedades y plagas, riegos, etc.

De esta fase se encargaron las entidades *Patatas y Cebollas Gándara* y el *CETECA*, así como el agricultor *Avelino Santana García*.

La cosecha fue analizada en cantidad y calidad por parte del *CETECA*: producción bruta, producción comercial, reparto de calibres, porcentaje de materia seca, determinación de tubérculos por kg, porcentaje de destrío, defectos y su incidencia. Se determinó el rendimiento de esta cosecha para cada una de las parcelas experimentales y se calculó la relación entre el nivel de potasio añadido en la fertilización con el porcentaje en materia seca.

- ✓ TAREA 3.1.- Periodo de siembra hasta recolección (ABRIL 2023- SEPTIEMBRE 2023).
 - ✓ TAREA 3.2.- Control de malas hierbas, enfermedades y plagas según los métodos tradicionales de la zona (ABRIL 2023- SEPTIEMBRE 2023).
 - ✓ TAREA 3.3.- Elaboración del cuaderno de campo en donde se reflejan los tratamientos, dosis, riegos y otras incidencias, para cada parcela definida en el plan experimental (ABRIL 2023- SEPTIEMBRE 2023).
 - ✓ TAREA 3.4.- Cosechado del cultivo de patata y análisis de la producción (2023-NOVIEMBRE 2023). La cosecha de los tubérculos se hizo en SEPTIEMBRE, condicionada por las en función de las condiciones meteorológicas y del cultivo.
- **FASE 4: Conservación en cámara.** Los tubérculos recolectados en cada una de las parcelas experimentales se sometieron a un período de conservación en cámara, siendo responsable el líder de la agrupación (*Patatas y Cebollas Gándara*) a tres temperaturas de almacenamiento. Una vez concluido el tiempo establecido en cada caso, se analizó el contenido en azúcares reductores, en los laboratorios del *CETECA*.
 - ✓ TAREA 4.1.- Almacenamiento de cada lote de patatas en cámara a diferentes rangos de temperaturas (OCTUBRE 2023-DICIEMBRE 2023).
 - ✓ TAREA 4.2.- Análisis de la calidad del tubérculo tras el almacenamiento (DICIEMBRE 2023-ENERO 2024).
- **FASE 5: Ensayos de transformación en fritura.** Cada uno de los lotes obtenidos en los ensayos anteriores, se sometieron a un proceso de cocinado por fritura, usando el equipamiento de la planta piloto del *CETECA*. En este caso, se evaluaron dos temperaturas de fritura, sobre el corte más habitual de patata (tipo chips). Las muestras, se analizaron, a continuación, mediante un equipo UHPCL-MS/MS con el objetivo de determinar su nivel de acrilamida, y relacionarlo con los parámetros medidos anteriormente. También se midieron parámetros colorimétricos, todo ello, en los laboratorios del *CETECA*.
 - ✓ TAREA 5.1.- Pruebas de fritura a diferente temperatura (160 y 190°C) (ENERO 2024- FEBRERO 2024).
 - ✓ TAREA 5.2.- Determinación del contenido en acrilamida y parámetros del color (FEBRERO 2024-MARZO 2024).
 - ✓ TAREA 5.3.- Correlación del contenido en acrilamida y el color de las muestras de patatas fritas (MARZO 2024-ABRIL 2024).

- **FASE 6: Difusión de los resultados.** Se realizaron diversas acciones de divulgación, por un lado, a la población general (y al sector de la patata en particular) a través de la asociación *ADEGAL*, y por otro, de difusión científico-técnica, tanto por parte de la empresa solicitante (*Patatas y Cebollas Gándara*) como por parte del *CETECA*.
 - ✓ TAREA 6.1.- Transferencia de resultados y asesoramiento a los sectores productivos (MARZO 2024-SEPTIEMBRE 2024).
 - ✓ TAREA 6.2.- Difusión general de los resultados mediante publicaciones a través de recursos digitales y prensa de los resultados obtenidos, así como recomendaciones agronómicas para la producción de patatas más adecuadas para freír (SEPTIEMBRE-NOVIEMBRE 2022; FEBRERO-MARZO 2023; SEPTIEMBRE-OCTUBRE 2023; ENERO-SEPTIEMBRE 2024).

FASE 7: Gestión del proyecto. Las tareas correspondientes a la gestión del proyecto implicaron a todas las entidades participantes en éste. Se organizaron reuniones de carácter periódico, a fin de planificar y organizar las diferentes actividades, definir los objetivos a corto plazo y coordinar las acciones pendientes. Se realizaron justificaciones económicas parciales, memorias parciales y la memoria final del proyecto, así como toda la documentación requerida para el cumplimiento de los acuerdos entre entidades, y de las obligaciones estipuladas por el órgano gestor de la convocatoria de subvención.

- ✓ TAREA 7.1.- Coordinación y organización de las entidades participantes (ABRIL 2022-SEPTIEMBRE 2024).
- ✓ TAREA 7.2.- Gestión económica y técnica del proyecto (AGOSTO-OCTUBRE 2022; AGOSTO-OCTUBRE 2023; ABRIL-SEPTIEMBRE 2024).

4. CONTEXTUALIZACIÓN DE LAS ACTIVIDADES DEL PROYECTO

4.1. Entidad solicitante

PATATAS Y CEBOLLAS GANDARA SC es una empresa familiar situada en Vilar de Santos (Ourense), dedicada principalmente a la venta de patatas, así como cebollas, cereales, hortalizas, semillas y fertilizantes (**Fig.36**).



Fig.36. Parcela de patatas en Vilar de Santos (A Limia), antes y después de ser cosechadas, perteneciente a la empresa *Patatas y cebollas Gándara SC*, participante en el presente proyecto.

Fuente: <https://patatasgandara.com/>

Comenzó su actividad en 1978 con la comercialización de su propia producción agrícola. Con el cambio en los hábitos de consumo y del sistema productivo, en los últimos años ampliaron sus instalaciones, y actualmente disponen de varios almacenes de gran capacidad, con cámaras de temperatura y condiciones controladas, totalmente automatizadas, así como un sistema de almacenaje robotizado, con el que alcanzan a manipular 200 toneladas de producto diarias, esto es, aproximadamente de 30.000 toneladas comercializadas anualmente.

Además de patata de consumo, *Patatas y Cebollas Gándara* también es distribuidor de semilla de patata, tanto de origen nacional como importadas (Fig.37).

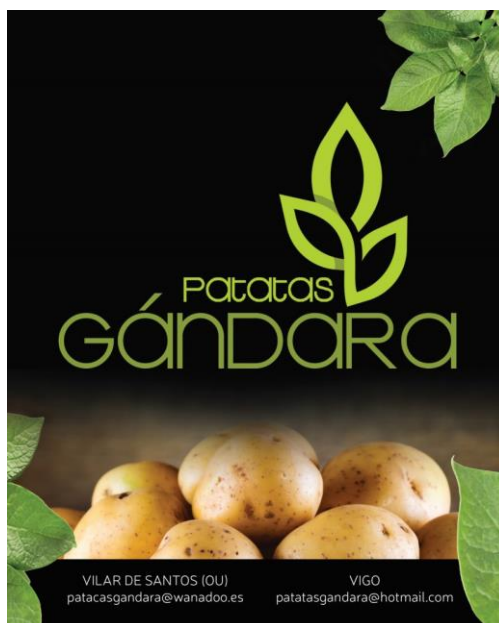


Fig.37. Logotipo de *Patatas y Cebollas Gándara*, empresa responsable del proyecto.

Fuente: <https://patatadesiembra.es/jose-antonio-gandara-la-patata-de-galicia-tiene-un-sabor-caracteristico-muy-apreciado-y-superior-al-de-otras-zonas>

Por tanto, esta empresa posee una larga trayectoria dentro del sector agrícola, tanto en el proceso de producción de patata (desde la selección de semillas y variedades), como el abonado, cuidados del cultivo y cosechado, almacenamiento y distribución, comercializando el producto con distintas finalidades (fresco, industria de fritura, etc.). En la actualidad, al estar en una zona de cultivo de patata de una alta calidad, está integrada dentro de la IGP “Patata de Galicia”, pasando por unos controles externos e internos de la calidad del producto.

Además, ha colaborado en anteriores ocasiones con centros de investigación como el *CETECA* o el *Instituto del Campo* (Xinzo de Limia) en ensayos de campo, estudiando distintas semillas, abonos y productos fitosanitarios.

Como responsable del proyecto, se hizo cargo de las labores de organización de tareas, coordinación y gestión, así como de la divulgación al sector primario de los resultados obtenidos en este estudio.

4.2. Descripción de la zona de ensayo

La comarca de A Limia se encuentra en el sur de la provincia de Ourense, atravesada por el río Limia. La mayor parte de la comarca está ocupada por la depresión de Antela, una superficie llana, con una altitud media de 630 m sobre el nivel del mar (Gómez-Nieto, 1996).

En la zona norte de esta depresión se localizaba la antigua Laguna de Antela. Esta laguna fue desecada a partir de los años 50, creando una red de canales de drenaje que desembocan en un canal principal, que a su vez vierte al río Limia. Las tierras ocupadas antes esta laguna, se convirtieron en tierras de labor, destinadas principalmente al cultivo de patata, de gran relevancia en la economía de la comarca (López-Mateo, 2007).

La topografía es llana y la capa freática se encuentra próxima a la superficie del terreno. El clima de la zona es oceánico de transición (Gómez Nieto, 1996), con cierto carácter mediterráneo y rasgos de continentalidad. Según el mapa ombrotérmico (climograma) del *Atlas Climático de Galicia* (Martínez-Cortizas y Pérez-Alberti, 1999) el clima de esta zona es seco-templado.

La parcela de ensayo pertenece al *CETECA* y se encuentra en el municipio de Sandiás (Ourense) en la antigua Laguna de Antela, cuenta con 71.000 m² de terreno de regadío apto para todo tipo de cultivos en extensivo.

4.3. Importancia de la producción de patata en A Limia

Como ya hemos mencionado, el **sector de la patata en Galicia** tiene una gran relevancia económica, siendo la Comunidad española con mayor producción. Dentro de ésta, **A Limia**, en la provincia de Ourense, es la comarca con **más superficie dedicada al cultivo de la patata** (4.000-5.000 ha). Aunque en algunos casos es para autoconsumo, hay zonas que tienen una dependencia total de este cultivo. La patata ocupa alrededor de un 27-28% del espacio agrario de A Limia, y catorce municipios de la comarca pertenecen a la IGP “Patata de Galicia” (López-Mateo, 2007).

Esto es debido a alta rentabilidad del cultivo, que permite realizar inversiones importantes no sólo en maquinaria, sino también en fertilizantes y productos fitosanitarios.

De esta forma, el cultivo de la patata representa la base socioeconómica de la zona, centrada en la producción, principalmente para comercialización de consumo en fresco, pero también para transformación en patata frita (**Fig.38**).

Según datos del *Instituto Galego de Estatística*, en el año 2023 se obtuvo un rendimiento de patatas en la provincia de Ourense de 47,7 Tm/ha (25,6 Tm/ha de patata de media estación y 22,1 Tm/ha de tardía).

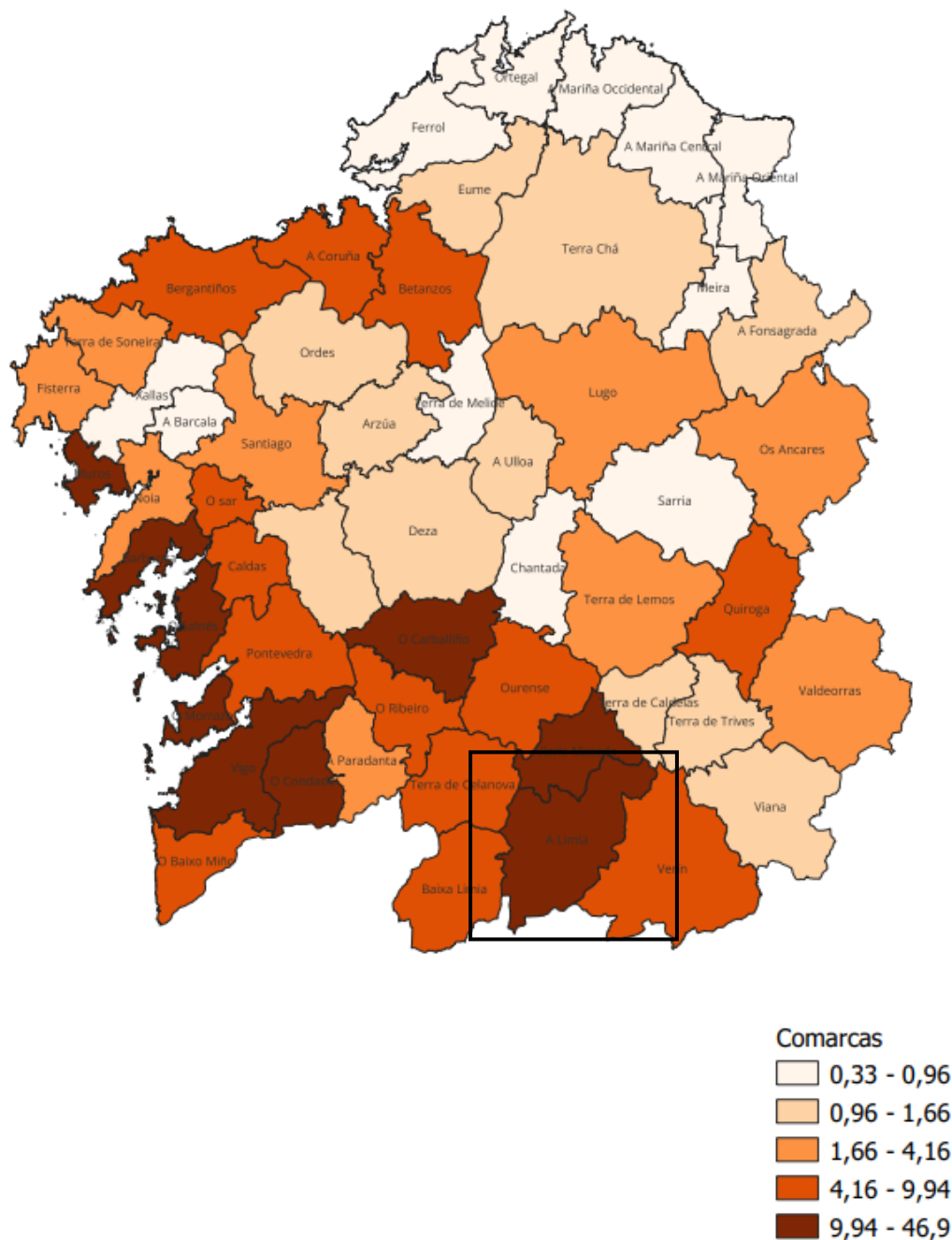


Fig.38. Mapa del porcentaje sobre la superficie agraria útil (SAU) de la superficie dedicada al cultivo de tubérculos en las distintas comarcas gallegas.

Fuente: *Instituto Gallego de Estadística. Anuario de Estadística Agraria 2023.*
<https://agacal.xunta.gal/es/estadistica-y-publicaciones/estadisticas>

4.4. Importancia de la fertilización potásica en el cultivo de la patata

El potasio es un nutriente particularmente importante para el cultivo de patata, si bien las necesidades de este elemento son distintas para las diversas variedades (Kumar *et al.*, 2004).

Al igual que el nitrógeno, la aplicación de potasio tiene efectos sobre la calidad de la patata. El aumento de la fertilización potásica incrementa el tamaño medio del tubérculo (Moinuddin *et al.*, 2004) y causa disminuciones de la densidad del mismo (Panique *et al.*, 1997).

La fertilización en potasio también influye en las concentraciones de almidón, azúcares reductores y materia seca, disminuyendo con su aplicación (Westermann *et al.*, 1994b), así como la incidencia de *corazón hueco* (defecto que se manifiesta como un orificio de forma irregular en el interior de la patata, causado por una respuesta fisiológica del tubérculo ante variaciones en las condiciones ambientales) (Panique *et al.*, 1997). Además, Harrison *et al.* (1982) obtuvieron un mejor color de las patatas fritas al incrementar la fertilización potásica.

4.5. Variedad de patata empleada en el estudio: Agria

Al tratarse de un cultivo muy extendido, existen numerosas variedades de patata con características diversas, capaces de adaptarse a distintas condiciones climatológicas (López-Mateo, 2007).

Entre las variedades de patata, podemos observar numerosas diferencias en el área foliar, el tamaño del sistema radicular, la época de inicio de la tuberización o el grado en el que los nutrientes de la planta son transportados al crecimiento del tubérculo, bajo diferentes condiciones de fotoperíodo y temperatura. Todo esto conlleva que la producción y el porcentaje de materia seca en los tubérculos varíen, de unas variedades a otras, en respuesta a unas condiciones exteriores determinadas (Burton, 1989).

La clasificación varietal se puede realizar según los siguientes caracteres: color y textura de la piel, color de la carne, forma del tubérculo, características de los brotes y de la parte aérea, productividad, precocidad de la brotación, tuberización y cosecha, resistencia a plagas y enfermedades, aptitudes culinarias, etc., aunque el criterio agronómico más empleado en la clasificación de variedades es el ciclo de cultivo.

Las variedades Kennebec y Agria son las más cultivadas en Galicia y en particular en la comarca de A Limia. De la superficie dedicada al cultivo de este tubérculo en A Limia, aproximadamente un 40% se destina a producción de Kennebec, 50% a Agria y el 10% restante a otras variedades.

La **variedad Agria** es semi-temprana (ciclo de cultivo entre 90 y 120 días), y se destina preferentemente a la industria de patata frita. Los tubérculos obtenidos son de piel y carne amarillenta. Tiene **mejores aptitudes que la Kennebec para fabricación de patatas fritas, por su bajo contenido en azúcares reductores**, que favorece un color dorado del producto frito (López-Mateo, 2007) (**Fig.39**).

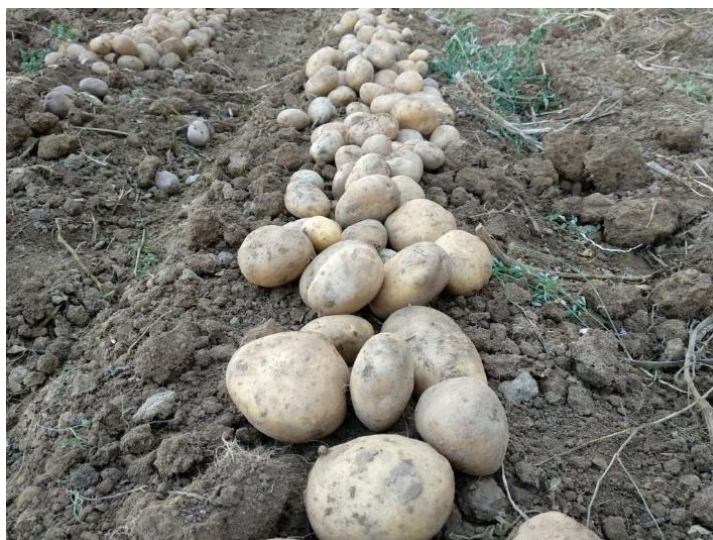


Fig.39. Cosecha de patatas de variedad Agria.

Fuente: <https://patatadesiembra.es/en-2021-la-variedad-agria-recupera-protagonismo>

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se realizaron **4 réplicas de cada parcela con la misma dosis de abonado potásico**. Así, sabiendo que se estudiaron **4 dosis de abonado potásico** (sin potasio y con aporte de 250, 500 y 1000 kg/ha de sulfato potásico) se obtuvieron 16 parcelas en total.

En este estudio, los ensayos se realizaron por duplicado y los resultados se expresaron indicando el valor medio y su desviación estándar. Los análisis estadísticos se llevaron a cabo mediante el software *SPSS Statistics 14.0*. El nivel de significación utilizado fue $p < 0,05$, el cual se considera suficiente para mostrar diferencias significativas entre tratamientos en ensayos de campo. Para determinar si existía o no diferencia significativa entre los resultados obtenidos en distintas condiciones, se aplicó el *Test de Duncan* o *prueba de rango múltiple de Duncan* (DMRT), que es una prueba post hoc para medir diferencias específicas entre pares de medias.

5.1. Análisis previos de las parcelas: caracterización del suelo, labores realizadas y abonado

El *Centro Tecnológico da Carne (CETECA)* ha sido el responsable de la toma de muestra para llevar a cabo la caracterización previa de los suelos: determinación de pH, materia orgánica, elementos disponibles para las plantas (CIC: capacidad de intercambio catiónica: calcio, magnesio, sodio, potasio), relaciones entre cationes, etc. (**Tabla 3**). Las muestras de suelo se tomaron de la capa arable (0-20 cm), para después secarlas al aire, tamizarlas por 2 mm y conservarlas para su análisis.

Tabla 3. Caracterización química de la capa arable de parcela de ensayos (20 cm).

Parámetros determinados	
pH en agua (1:2,5)	5,27
Materia orgánica (%)	12,24
Fósforo asimilable (Olsen) (mg/kg)	83,02
Potasio asimilable (mg/kg)	107,6 (0,28 cmol _c /kg)
Calcio (mg/kg)	315,23 (1,58 cmol _c /kg)
Magnesio (mg/kg)	42,13 (0,35 cmol _c /kg)
Sodio (mg/kg)	192,32 (0,84 cmol _c /kg)
Relación Ca:Mg	4,54
Relación K:Mg	0,79

Se trata de un suelo ácido, con un **pH en agua** de 5,27. Este valor se encuentra levemente por debajo del rango óptimo (5,5-6,5) especificado para producción de patata por Alonso Arce (1996), pero dentro del rango 4,5-7,0 señalado por Porta *et al.* (1994). Lema (1996) propone como adecuado para el cultivo de la patata el intervalo de 5,2-5,6, por lo que, en este caso, sería un pH adecuado. Además, este valor sería muy similar a los analizados en parcelas cercanas a la zona, tradicionalmente dedicadas al cultivo de la patata, como es el caso de los valores iniciales, previos al cultivo de la patata, encontrados por López-Mateo (2007) (4,8-5,5), dentro de estudio llevado a cabo durante 3 años.

Respecto a la **materia orgánica** del suelo, ésta es fundamental para el mantenimiento de su estructura, favoreciendo la retención de agua en épocas de sequía y el drenaje si el agua es excesiva. Además, contribuye de forma decisiva a la capacidad de intercambio catiónico. Por tanto, es un factor esencial en la conservación del suelo, ya que influye en sus propiedades físicas, químicas y biológicas. En nuestro caso, se obtuvo un porcentaje de 12,24%, el cual es elevado, a pesar de que es habitual que en el cultivo de patata dé lugar frecuentemente a bajas concentraciones (Edwards *et al.*, 2000; Grandy *et al.*, 2002; Carter *et al.*, 2004; Stark y Porter, 2005).

El **fósforo asimilable** o disponible se determinó siguiendo el *método Olsen* (Olsen y Sommers, 1982), que es el empleado habitualmente en los laboratorios que realizan análisis de suelos en Galicia (López-Mateo, 2007). La concentración de 83,02 mg/kg de fósforo disponible determinada inicialmente en el suelo de la parcela es muy elevada, aunque semejante a los valores encontrados en otros estudios en la zona de A Limia. Por ejemplo, en su investigación, López-Mateos (2007) obtuvo valores de fósforo asimilable dentro del rango 54 y 74 mg/kg para suelos antes de iniciar la plantación de patata. En los suelos que presentan más de 25 mg/kg de fósforo, se considera que tienen reservas y sólo se han de efectuar aportes para compensar las extracciones del cultivo o como abonado de arranque (Lema, 1996).

Los **cationes intercambiables** (Ca, Mg, Na y K) se determinaron por el método de Peech *et al.* (1947). Así, se obtuvo un valor de **Ca intercambiable** de 315,23 mg/kg (1,58 cmol_c/kg). En general, un suelo es deficiente en este elemento si posee menos de 1,5 cmol_c/kg o si la relación Ca/Mg es inferior a 0,5 (Buol *et al.*, 1975). Además, el cultivo de la patata es uno de los menos exigentes en este elemento, y niveles de 0,7 cmol_c/kg serían suficientes para no tener deficiencias (Van Lierop *et al.*, 1982). Por tanto, nuestro suelo tendría un contenido adecuado de este elemento disponible para las plantas.

En relación al **Mg intercambiable**, se obtuvo un valor de 42,13 mg/kg (0,35 cmol_c/kg), lo cual sería ligeramente deficiente para el cultivo de patata, ya que se recomienda que se superen 0,8 cmol_c/kg (Lema, 1996).

Con respecto al **K intercambiable**, la patata es un cultivo que presenta elevadas absorciones de este elemento, por esto, aunque niveles de 0,2 cmol_c/kg se consideran limitantes para los cultivos en general, debido a las exigencias de la patata, el límite se eleva hasta 0,26 cmol_c/kg (Lema, 1996). En nuestro caso, el valor de 107,6 mg/kg (0,28 cmol_c/kg) obtenido estaría dentro del límite.

Por otro lado, el agricultor *Avelino Santana García* ha sido el encargado de realizar las labores de preparación del campo (arado, abonado) para que estuviera en condiciones óptimas antes de la siembra de patata.

5.2. Seguimiento del cultivo

En la **Tabla 4** se muestra el seguimiento llevado a cabo en el cultivo de la patata para cada parcela (numeradas de 1 a 16, en función de la dosis de abonado de sulfato potásico).

Previamente, se realizó el abonado ya descrito, el 10/04/2023. Las patatas se sembraron el 25/04/2023, y la nascencia se observó 20 días después. La fecha probable de tuberización se situó entre el 13 y el 19 de junio. A continuación, se realizaron inspecciones visuales hasta en 3 ocasiones (20 junio, 5 julio y 1 de agosto), para evaluar el estado de las plantas de patata, en donde el valor 1 resultó muy mal estado (planta con pésimo desarrollo) y 5 estado óptimo.

El cosechado de las patatas se hizo el 18 de septiembre, cuando las plantas alcanzaron el desarrollo adecuado y en función de las condiciones meteorológicas.

Tabla 4. Seguimiento en el cultivo de la patata.

Parcela	DOSIS K kg/ha	SIEMBRA	NASCENCIA	PROBABLE TUBERIZACIÓN	20-jun	05-jul	01-ago	Promedio	COSECHA
					ESTADO (1-5)	ESTADO (1-5)	ESTADO (1-5)		
A-1	SIN K	25/04/2023	15/05/2023	16/06/2023	4	4	3	3,67	18/09/2023
A-2				19/06/2023	3	3	3	3,00	
A-3				14/06/2023	3	4	3	3,33	
A-4				17/06/2023	4	3	3	3,33	
A-5	250	25/04/2023	15/05/2023	14/06/2023	4	3	4	3,67	18/09/2023
A-6				14/06/2023	4	3	4	3,67	
A-7				13/06/2023	5	4	3	4,00	
A-8				17/06/2023	4	3	4	3,67	
A-9	500	25/04/2023	15/05/2023	13/06/2023	4	4	5	4,33	18/09/2023
A-10				14/06/2023	3	3	5	3,67	
A-11				17/06/2023	5	3	4	4,00	
A-12				13/06/2023	5	4	4	4,33	
A-13	1000	25/04/2023	15/05/2023	14/06/2023	5	3	5	4,33	18/09/2023
A-14				14/06/2023	4	4	5	4,33	
A-15				15/06/2023	4	4	4	4,00	
A-16				15/06/2023	3	4	5	4,00	

En la **Fig.40** se observan las imágenes de distintos seguimientos realizados en campo, diferenciando las distintas fases de desarrollo de las plantas de patata.

En la **Fig.41** se muestra la **evolución del estado de la patata** (de 1 a 5) en función del crecimiento de la misma, mediante el promedio de las 3 evaluaciones realizadas en las distintas fechas y la desviación estándar reflejada por las barras de error.



Fig.40. Evolución del crecimiento de la patata en la parcela objeto de estudio (Sandiás).

Según la **Fig.41** podemos comprobar que, en todos los casos, **las plantas de patata tuvieron un desarrollo adecuado**, siempre por encima de 3, para todas las dosis de abonado de sulfato potásico (0, 250, 500 y 1000 kg/ha; que para más comodidad denominaremos **sin K**, **K250**, **K500** y **K1000** respectivamente).

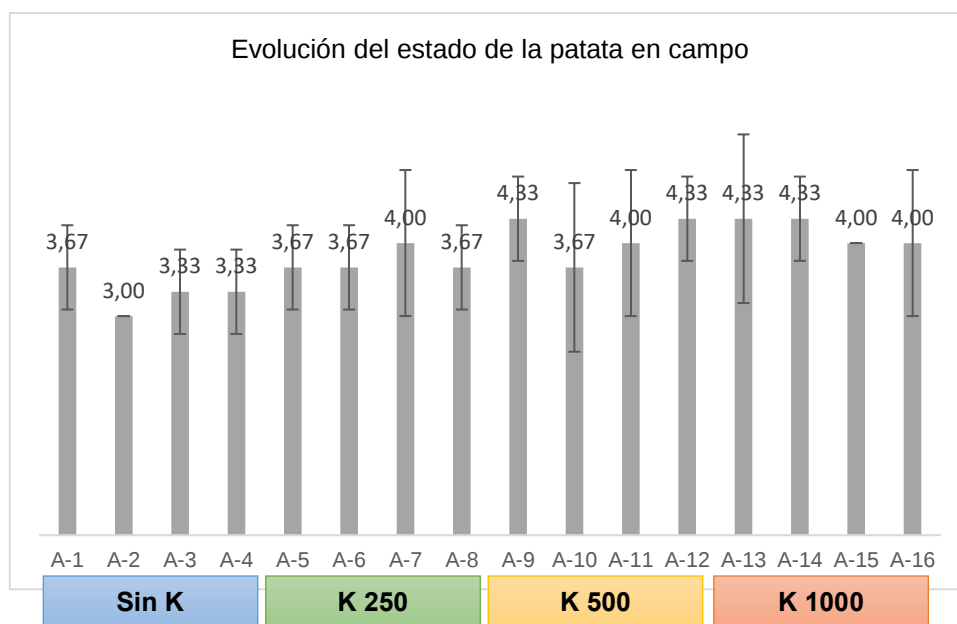


Fig.41. Evolución del estado de la patata (de 1 a 5) (valor promedio y desviación típica) en cada parcela (A1-A16), en función del abonado potásico, en donde 1 indica un mal desarrollo y 5 un desarrollo óptimo.

5.3. Producción de la cosecha

En la **Tabla 5** y la **Fig.42** se muestran los resultados obtenidos para la **producción bruta de la cosecha**, junto con los valores promedio y desviación, en función de la dosis de abonado potásico.

Puede comprobarse que, aunque existen algunas diferencias de producción obtenida entre las distintas parcelas con la misma dosis de abonado, teniendo en cuenta los valores medios, se observa que **la producción bruta aumentó levemente cuanto mayor fue la concentración de potasio añadida** (de 49.393 kg/ha para las parcelas sin abonado, a 50.815 kg/ha para las parcelas con la mayor dosis de abonado potásico).

Esto es debido a que **el potasio es un nutriente particularmente importante para el cultivo de patata**, y su aplicación a la parcela tiene efectos sobre la producción, el tamaño y la calidad del tubérculo (Kumar *et al.*, 2004).

Tabla 5. Producción bruta obtenida en la recolección de patata de las parcelas objeto de estudio, en función de la dosis de abonado potásico (0, 250, 500 y 1000 kg/ha).

PARCELA	DOSIS K (kg/ha)	Producción Bruta (kg/ha)	Promedio Producción Bruta (kg/ha)	Desviación (kg/ha)
A-1	SIN K	57007	49393	7624
A-2		41600		
A-3		44207		
A-4		54756		
A-5	250	42667	50104	6165
A-6		49422		
A-7		50607		
A-8		57719		
A-9	500	51437	50430	5280
A-10		55230		
A-11		42904		
A-12		52148		
A-13	1000	43022	50815	6763
A-14		47289		
A-15		56533		
A-16		56415		

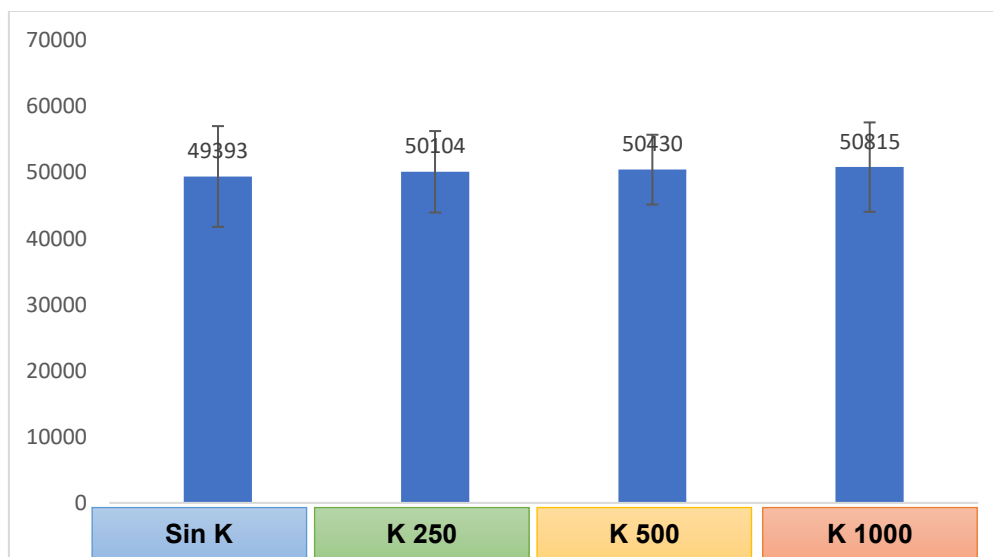


Fig.42. Producción bruta (valores promedio y desviación estándar) obtenida en la cosecha de patata de las parcelas objeto de estudio, en función de la dosis de abonado potásico (0, 250, 500 y 1000 kg/ha).

5.4. Calidad de la cosecha. Porcentaje de defectos y producción comercial

Para determinar la **calidad de la cosecha**, se tuvieron en cuenta los tubérculos descartados con defectos, esto es, el **porcentaje de destrío** (Tabla 6). A partir de este porcentaje, se estimó la **producción comercial** (kg/ha).

Tabla 6. Porcentaje de destrío y producción comercial obtenida en la recolección de patata en las parcelas objeto de estudio, en función de la dosis de abonado potásico (0, 250, 500 y 1000 kg/ha).

PARCELA	DOSIS K (kg/ha)	Destrío (%)	Promedio Destrío (%)	Desviación (%)	Producción Comercial (kg/ha)	Promedio Producción Comercial (kg/ha)	Desviación (kg/ha)
A-1	SIN K	3,51	6,26	2,41	55007	46308	7362
A-2		5,32			39386		
A-3		7,04			41094		
A-4		9,15			49744		
A-5	250	7,38	5,46	3,05	39516	47471	7080
A-6		8,67			45139		
A-7		3,53			48821		
A-8		2,27			56407		
A-9	500	6,04	4,40	1,20	48331	48226	5272
A-10		3,33			53389		
A-11		4,52			40964		
A-12		3,70			50221		
A-13	1000	6,20	7,04	1,84	40353	47263	6650
A-14		9,46			42813		
A-15		7,34			52385		
A-16		5,17			53500		

Puede comprobarse que el **porcentaje de destrío** (patatas descartadas por defectos) **no guarda una relación clara con la dosis de abonado aplicada a las parcelas** (Fig.43). Esta situación está provocada por el hecho de que, en las patatas en las que se encontraron defectos, en la mayoría de los casos era por **presencia de agrietado**, causado por la excepcional situación del pasado año de episodios de lluvias continuados durante el ciclo de la patata, que provocó que éstas crearan una piel más gruesa. Posteriormente, cuando se dieron días de altas temperaturas, aparecieron grietas de crecimiento en los tubérculos (Fig.44).

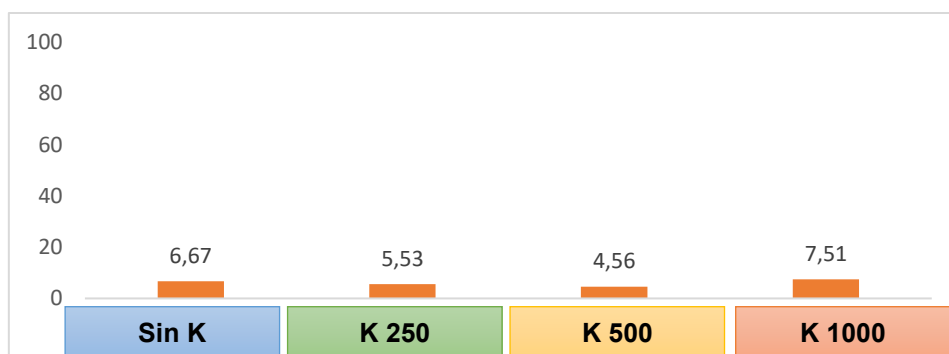


Fig.43. Porcentaje de destrío según la dosis de abonado potásico (0, 250, 500 y 1000 kg/ha).



Fig.44. Patatas afectadas por grietas debidas el estrés hídrico.

A continuación, en la **Fig.45** se comparan la **producción bruta** y la **producción comercial** (valores promedio) en función de las dosis de abonado potásico.

Se puede apreciar que la máxima producción comercial se alcanzó con la dosis de abonado de potasio media (500 kg/ha), con 48.226 kg/ha, y la menor, se obtuvo en las parcelas sin abonado potásico (valor medio de 46.308 kg/ha).

Como ya hemos mencionado, no hay diferencias muy acusadas entre las producciones comerciales (calculadas por medio del porcentaje de destrío), comparando las dosis de abonado de las parcelas, incluso entre parcelas con la misma fertilización, debido a la situación de estrés hídrico al que fueron sometidas las patatas durante su ciclo de desarrollo.

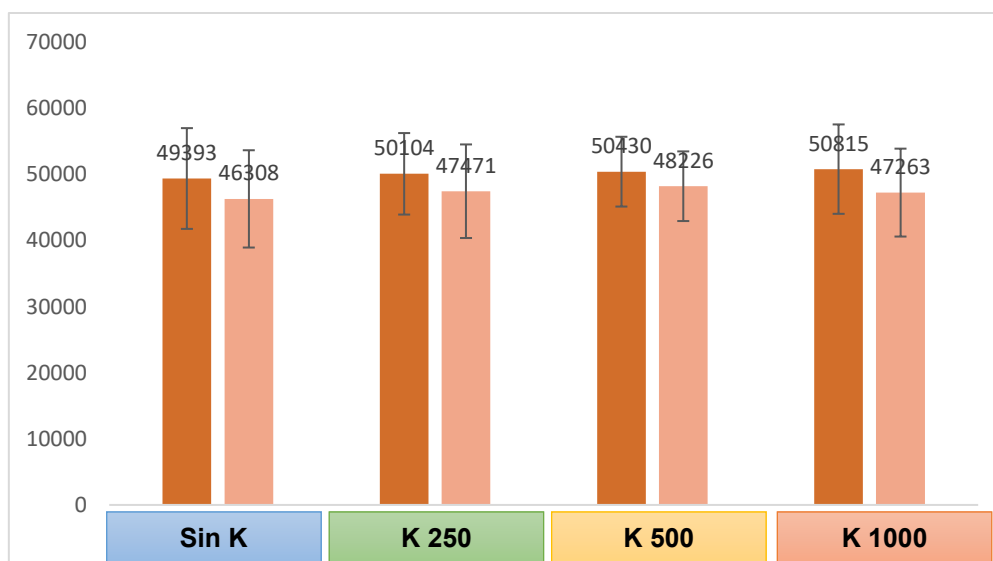


Fig.45. Producción bruta y comercial (valores promedio y desviación estándar) en función de la dosis de abonado potásico.

5.5. Determinación del contenido en materia seca en la patata previa al almacenamiento

Los valores medios de **porcentajes de materia seca** en el tubérculo oscilaron entre **19,7 y 21,6%** (**Fig.46**). Estos resultados son similares a los obtenidos para la misma variedad de patata (Agria) por López-Mateo (2007), en diferentes ensayos de abonado durante varios años, llevados a cabo en una parcela de la misma zona, con porcentajes de materia seca en el tubérculo en el rango 19,8-28,0%.

Para la producción de patatas fritas en láminas, los tubérculos deben tener una concentración de materia seca comprendida entre 20 y 25% (Kita, 2002), ya que, aquellos con menor porcentaje de materia seca, producen bajos rendimientos, un mayor consumo de aceite y *chips* más grasientas y menos crujientes (López-Mateo, 2007).

Teniendo en cuenta la dosis de fertilización potásica, podemos observar que, en nuestro caso, **la materia seca aumentó levemente con la aplicación de potasio (Fig.46).**

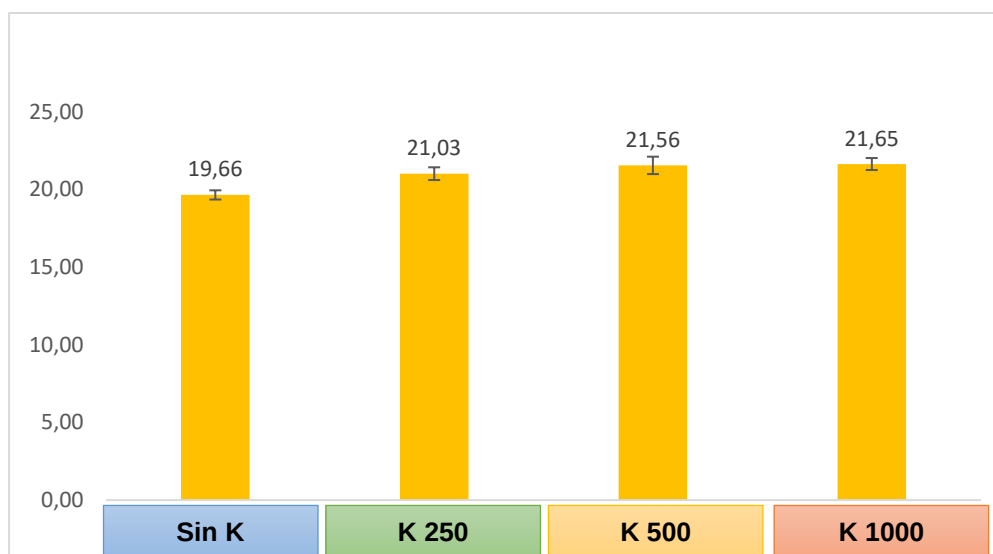


Fig.46. Porcentaje en materia seca (valores promedio y desviación estándar) obtenido en las patatas recolectadas, en función de la dosis de abonado potásico.

Esta situación es concordante con el hecho de que, con el abonado en potasio, aumenta el tamaño medio del tubérculo (Moinuddin *et al.*, 2004), y, además, se incrementa el contenido en materia seca hasta un nivel en el cual, si lo sobrepasamos mediante un exceso de fertilización potásica, ésta comienza a disminuir.

Westermann *et al.* (1994b) establecieron que la fertilización potásica influye en las concentraciones de almidón, azúcares reductores y materia seca, disminuyendo con su aplicación.

En la misma línea, los investigadores Kolbe *et al.* (1995b), Reis y Fontes (1996), Allison *et al.* (2001), Pauletti y Menarin (2004) y López-Mateo (2007) también observaron una **disminución de la materia seca en patata al aumentar la fertilización potásica**.

5.6. Determinación del contenido azúcares reductores en la patata después del almacenamiento

Después del tiempo de almacenamiento (aproximadamente 2 meses), en el que las patatas se mantuvieron en cámaras con un porcentaje de humedad del 85-90%, se determinó la concentración en azúcares reductores.

Las bajas temperaturas y una humedad relativa alta (en torno al 90%) reducen la transpiración, retardan la pérdida de agua, y a su vez reducen el desarrollo de patógenos, ayudando a alargar la vida de la patata.

Se ha considerado el **nivel de abonado en potasio** (sin potasio, y con aporte de 250, 500 y 1000 kg/ha de sulfato potásico, que denominaremos **SIN K**, **K 250**, **K 500** y **K 1000** respectivamente) y la **temperatura de almacenamiento** a los rangos de temperaturas de conservación evaluados (de **0 a 4°C** “condiciones de FRÍO”, de **6 a 8°C** “condiciones de CONSERVACIÓN” y de **14 a 18°C** “temperatura AMBIENTE”)

Para las **patatas almacenadas en condiciones de frío** (0-4°C), vemos que, el **porcentaje de azúcares reductores**, calculado en el extracto seco, se situó entre 1,87-2,53% (valores medios), obteniéndose el **valor más elevado para las patatas recogidas de las parcelas sin abonado potásico** (2,53%), aunque sin grandes variaciones con respecto al resto de tratamientos.

Tabla 7. Porcentaje de azúcares reductores (valores promedio) obtenido en las patatas recolectadas de las parcelas objeto de estudio, en función de la dosis de abonado potásico (0, 250, 500 y 1000 kg/ha) y almacenamiento en condiciones de frío.

Almacenamiento en FRÍO	% Materia seca	% Azúcares reductores (Extracto seco)	Desv
SIN K	19,66	2,53	1,11
K 250	21,03	1,97	0,48
K 500	21,56	1,87	0,73
K 1000	21,65	2,42	1,40

Para las **patatas almacenadas en condiciones de conservación óptima** (6-8°C) (Tabla 8), las muestras presentaron valores similares de azúcares reductores, con promedios entre 0,57-0,66%. Puede apreciarse claramente que **el porcentaje en azúcares reductores fue considerablemente inferior con respecto a los obtenidos para el almacenamiento de los tubérculos en frío**.

Tabla 8. Porcentaje de azúcares reductores (valores promedio) obtenido en las patatas recolectadas de las parcelas objeto de estudio, en función de la dosis de abonado potásico (0, 250, 500 y 1000 kg/ha) y almacenamiento en condiciones de temperatura conservación.

Almacenamiento condiciones de CONSERVACIÓN	% Materia seca	% Azúcares reductores (Extracto seco)	Desv.
SIN K	19,66	0,59	0,04
K 250	21,03	0,66	0,32
K 500	21,56	0,65	0,09
K 1000	21,65	0,57	0,04

Asimismo, observando los datos de las **patatas almacenadas a temperatura ambiente** (14-18°C) (**Tabla 9**), se encontraron valores promedio de azúcares reductores entre 0,57-0,76%, similares a los obtenidos para las patatas almacenadas en condiciones de conservación.

Tabla 9. Porcentaje de azúcares reductores (valores promedio) obtenido en las patatas recolectadas de las parcelas objeto de estudio, en función de la dosis de abonado potásico (0, 250, 500 y 1000 kg/ha) y almacenamiento en condiciones de temperatura ambiente.

Almacenamiento a temperatura AMBIENTE	% Materia seca	% Azúcares reductores (Extracto seco)	Desv.
SIN K	19,66	0,57	0,11
K 250	21,03	0,76	0,10
K 500	21,56	0,74	0,17
K 1000	21,65	0,53	0,07

A modo de resumen, podemos ver los resultados del porcentaje de azúcares reductores en las patatas cosechadas y en función de la dosis de abonado de sulfato potásico (0, 250, 500 y 1000 kg/ha, es decir, **sin K, K250, K500 y K1000** respectivamente), en la **Tabla 10**.

Tabla 10. Tabla resumen del porcentaje de azúcares reductores obtenido en las patatas recolectadas de las parcelas objeto de estudio, en función de la dosis de abonado potásico (0, 250, 500 y 1000 kg/ha) y condiciones de almacenamiento.

Dosis de abonado (kg/ha)	Condiciones almacenamiento	% Azúcares reductores	Desv.
Sin K	Ambiente	0,5670	0,1143
	Optima	0,5899	0,0434
	Frío	2,5319	1,1062
K 250	Ambiente	0,7571	0,1020
	Optima	0,6628	0,3163
	Frío	1,9723	0,4828
K 500	Ambiente	0,7431	0,1714
	Optima	0,6484	0,0889
	Frío	1,8750	0,7255
K 1000	Ambiente	0,5328	0,0670
	Optima	0,5744	0,0372
	Frío	2,4182	1,4037
SIG.	Abonado (A)	n.s.	
	Almacenamiento (conservación) (C)	***	
	A x C	n.s.	

SIG: Significancia.

A: significancia del efecto de la dosis de abonado potásico; C: significancia del efecto de la temperatura de almacenamiento (conservación).

A x C: interacción de la dosis de abonado potásico y la temperatura de almacenamiento (conservación).

n.s.: no significativo.

* ($P < 0,05$); ** ($P < 0,01$); *** ($P < 0,001$).

Se empleó el software *SPSS Statistics 14.0* para determinar si existía o no diferencia significativa entre los resultados obtenidos, utilizando un nivel de significancia de $p < 0,05$.

En vista de estos resultados (**Tabla 10**), hemos corroborado que el **contenido de azúcares reductores varía dependiendo de las condiciones de almacenamiento**, fundamentalmente en condiciones de frío, ya que se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($P < 0,001$). Durante el almacenamiento de la patata, a nivel industrial es habitual emplear temperaturas bajas para controlar el proceso de germinación, lo cual incrementa la actividad enzimática sobre el almidón, generando un aumento de la concentración de azúcares reductores

(Knutsen *et al.*, 2009). Por tanto, **es esperable que aumente el contenido en estos azúcares con la exposición prolongada al frío.**

Esto es consistente con lo descrito en el *Reglamento CE 2017/2158*, en el que se establecen las medidas de mitigación para reducir la presencia de acrilamida en alimentos, en el cual se describe que la temperatura debe ser apropiada para la variedad de patata almacenada, siempre superior a 6°C.

Por el contrario, si evaluamos la significancia de los azúcares reductores obtenidos con respecto al abonado, se obtuvo que las diferencias obtenidas no fueron significativas, por lo que **no se vio el efecto del abonado en el contenido en azúcares reductores.**

Sin embargo, numerosos autores señalan una disminución de la concentración de azúcares reductores con la fertilización potásica (Herlihy y Carroll, 1969; Westermann *et al.*, 1994b), así como del contenido en materia seca, hecho que no pudo corroborarse en nuestro caso.

5.7. Determinación de acrilamida. Relación del contenido de acrilamida con el porcentaje en materia seca y azúcares reductores

En la tabla que se muestra a continuación (**Tabla 11**), se exponen los resultados de acrilamida ($\mu\text{g/kg}$) obtenidos para las muestras de patatas fritas estilo *chips*, en función de la temperatura de fritura (T1: 165°C y T2: 190°C), la temperatura de almacenamiento previa, descrita anteriormente (temperatura de conservación óptima, temperatura ambiente y almacenamiento en frío) y la dosis de abonado de las parcelas.

Es importante tener en cuenta que el **nivel de referencia de concentración de acrilamida**, según el Anexo IV del Reglamento de la Comisión Europea sobre las *medidas de mitigación y los niveles de referencia de acrilamida* para patatas fritas a la inglesa “chips” es de **750 $\mu\text{g/kg}$** (Cámara Hurtado *et al.*, 2017).

Podemos observar que, para la **mayor temperatura de fritura (T2: 190°C)**, **se encontraron valores superiores a 750 $\mu\text{g/kg}$ en la mayoría de las muestras de patatas** (señalados en negrita en la **Tabla 11**), aunque también se alcanzaron algunos valores elevados en patatas fritas a la temperatura T1 (165°C) en los tubérculos almacenados a temperatura ambiente y en condiciones de frío.

Se empleó el software *SPSS Statistics 14.0* para determinar si existía o no diferencia significativa entre los resultados obtenidos, utilizando un nivel de significancia de $p < 0,05$.

Tabla 11. Valores de acrilamida ($\mu\text{g/kg}$) obtenidos para las muestras de patatas fritas, en función de la temperatura de fritura (T1: 165°C y T2: 190°C), la temperatura de almacenamiento previa (temperatura de conservación óptima, temperatura ambiente y almacenamiento en frío) y la dosis de abonado potásico de las parcelas (0, 250, 500 y 1000 kg/ha).

Dosis de abonado (kg/ha)	Temperatura conservación		Temperatura ambiente		Almacenamiento en frío	
	T1	T2	T1	T2	T1	T2
SIN POTASIO	139,91	324,37	144,65	1440,44	324,83	585,63
	154,84	197,21	97,39	759,99	345,64	684,08
	70,99	495,73	101,50	982,01	324,65	910,04
	74,81	161,68	495,02	587,22	509,76	896,65
K 250	268,31	113,35	230,68	978,71	313,75	1121,88
	86,61	320,73	432,60	772,40	456,07	1043,05
	240,38	94,34	483,51	1610,22	450,03	871,88
	164,37	207,04	512,91	998,07	369,40	820,13
K 500	161,46	201,59	656,77	1082,64	451,18	704,43
	191,09	414,60	1585,64	2278,06	230,35	852,21
	428,48	541,54	859,34	954,17	948,04	986,56
	297,02	360,89	664,72	1197,10	894,67	1228,48
K 1000	269,48	283,70	735,22	1958,84	737,11	814,97
	365,07	864,74	897,50	2178,59	606,80	886,29
	236,74	356,25	779,37	883,84	162,32	926,23
	118,24	186,26	946,25	1671,97	107,38	275,60

SIG.	Abonado (A)	***
	Almacenamiento (conservación) (C)	***
	Temperatura fritura (T)	***
	A x C	**
	A x T	n.s.
	C x T	**
	A x C x T	n.s.

SIG.: Significancia.

A: significancia del efecto de la dosis de abonado potásico; C: significancia del efecto de la temperatura de almacenamiento (conservación); T: significancia del efecto de la temperatura de fritura.

A x C: interacción de la dosis de abonado potásico y la temperatura de almacenamiento (conservación); A x T: interacción de la dosis de abonado potásico y la temperatura de fritura; C x T: interacción de la temperatura de almacenamiento (conservación) y la temperatura de fritura; A x C x T: interacción de los 3 factores: abonado potásico, temperatura de almacenamiento (conservación) y la temperatura de fritura.

n.s.: no significativo.

* ($P<0,05$); ** ($P<0,01$); *** ($P<0,001$).

Si analizamos la significancia, se observa claramente que **la temperatura de almacenamiento influyó en la formación de acrilamida de las patatas fritas** ($P<0,001$), fundamentalmente en las almacenadas a temperatura ambiente y en frío, obteniéndose los valores más elevados para la temperatura de fritura más alta (T2:190°C). Además, se encontraron diferencias significativas en función del abonado ($P<0,001$), y la temperatura de fritura ($P<0,001$).

Si evaluamos las **interacciones entre los diferentes parámetros analizados**, tenemos que, en la interacción entre la dosis de abonado potásico y la temperatura de almacenamiento, también se obtuvieron diferencias significativas ($P < 0,01$), así como en interacción del almacenamiento y la temperatura de fritura ($P < 0,01$). Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas para la interacción entre el abonado con la temperatura de fritura.

Estos resultados son concordantes con lo explicado anteriormente, respecto a que **el frío favorece la formación de azúcares reductores**, que son precursores de la acrilamida, y por ello, encontraremos una **mayor concentración de acrilamida en las patatas fritas**, que además tendrán un color más oscuro.

Según la bibliografía, el contenido en acrilamida está estrechamente relacionado con la proporción en materia seca y el contenido en azúcares reductores, ya que, al aumentar el contenido de materia seca, se potencia la formación posterior de acrilamida.

Como ya hemos descrito, **no se encontró una relación clara entre el abonado y el contenido en materia seca y azúcares reductores**, aunque estadísticamente sí con los niveles de acrilamida.

A continuación, describiremos la valoración visual del color de las patatas fritas resultantes del estudio, como una forma de corroborar los niveles de acrilamida obtenidos.

5.8. Determinación de la calidad en patata frita

5.8.1. Valoración del color como parámetro de calidad en patatas fritas

Para la **valoración del color del producto frito**, se asignó a cada muestra una puntuación comprendida entre 1 y 9, cuya interpretación se muestra en la **Tabla 12** (López-Mateo, 2007).

Tabla 12. Valoración de color de la patata frita en chips.

Puntuación	Valoración
1-4	No aceptable, color muy oscuro
5-6	Aceptable, color dorado fuerte
7-9	Aceptable, color dorado pálido

Se ha tenido en cuenta, en la asignación de estos parámetros de color como valoración de la calidad de fritura, el **nivel de abonado en potasio** (sin potasio, y con aporte de 250, 500 y 1000 kg/ha de sulfato potásico), la **temperatura de almacenamiento** a los rangos de temperaturas de conservación evaluados (de **0 a 4°C** “condiciones de FRÍO”, de **6 a 8°C** “condiciones de CONSERVACIÓN” y de **14 a 18°C** “temperatura AMBIENTE”) y la temperatura del tratamiento térmico (**T1:165°C** y **T2:190°C**). Como ya se ha mencionado, para cada lote se hicieron 4 réplicas de las parcelas en las mismas condiciones de tratamiento.

La **temperatura de almacenamiento fue el factor que más afectó al color de las patatas fritas tipo chips**. Una vez cocinadas, y considerando las dos temperaturas de fritura estudiadas, se observó que **la peor puntuación de las patatas fritas se alcanzó en aquellas almacenadas a baja temperatura** (0-4°C), con valores medios de puntuación entre 3,25 y 3,75 para la temperatura de fritura de 165°C (T1) y entre 1,5-2,5 para T2 (190°C), con el peor valor asignado a las patatas procedentes de las parcelas abonadas con la dosis más baja de potasio (250 kg/ha) (**Fig.47**). Según la interpretación de los valores, reflejada en la **Tabla 12**, y otorgados sobre un valor máximo de 9, tenemos **patatas no aceptables** (con valores inferiores a 4) en todos los casos, por tener un color muy oscuro, **indicativo de un alto contenido en acrilamida**.

Estos resultados son consistentes con los obtenidos para el contenido en acrilamida, descritos en las **Tablas 10** (contenido en azúcares reductores) y **11** (contenido en acrilamida). Es decir, a mayor contenido en azúcares reductores, mayores niveles de acrilamida, obteniéndose patatas fritas de un color más oscuro y mayores defectos, con peor aceptación.

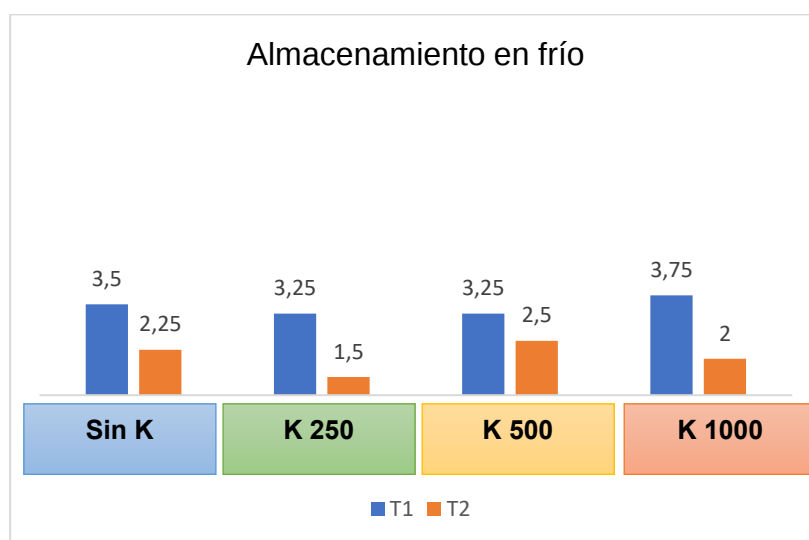


Fig.47. Gráfica en la que se muestra la puntuación en valoración de color para patatas fritas, después del almacenamiento en frío (0-4°C), según la dosis de abonado potásico y de la temperatura de fritura (azul: T1: 165°C; naranja: T2:190°C).

En lo que respecta a los resultados obtenidos para los tubérculos almacenados a **temperatura de conservación** (6-8°C), los valores medios de puntuación de calidad por color se situaron entre 8,25 y 7,75 para la temperatura de fritura de 165°C (T1) y entre 7,75-7,00 para T2 (190°C), con el valor más bajo para las patatas procedentes de las parcelas sin aplicación de potasio (**Fig.48**). Según la interpretación de los valores, reflejada en la **Tabla 10**, tenemos patatas con un color adecuado (dorado pálido) y una buena valoración, dentro del rango 7-9, en todos los casos.

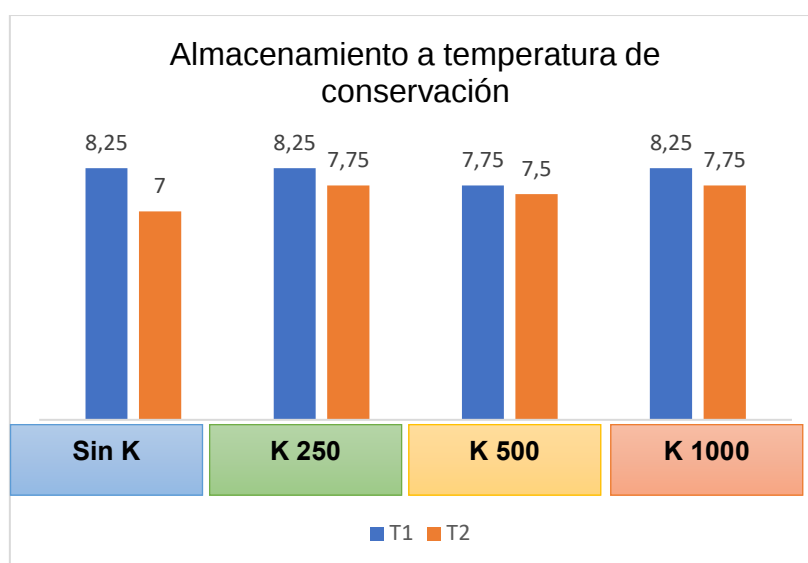


Fig.48. Gráfica en la que se muestra la puntuación en valoración de color para patatas fritas, después del almacenamiento en temperatura de conservación (6-8°C), según la dosis de abonado potásico y de la temperatura de fritura (azul: T1: 165°C; naranja: T2:190°C).

Por último, para el **almacenamiento a temperatura ambiente** (14-18°C), los valores medios de puntuación de calidad por color se situaron entre 8,25-7,25 para la temperatura de fritura de 165°C (T1) y entre 6,75-6,00 para T2 (190°C) (**Fig.49**). Si comparamos estos valores con los asignados para las patatas almacenadas a temperatura de conservación, observamos que fueron similares para la temperatura de fritura T1, pero se redujeron aproximadamente un punto cuando la temperatura de cocinado se elevó a 190°C.

Así, teniendo en cuenta la **Tabla 12**, se obtuvieron patatas con un color adecuado (dorado pálido) y una buena valoración, para todos los rangos de abonado de potasio; sin embargo, al aumentar la temperatura de freír hasta 190°C, estos valores de aceptación de color disminuyen por alcanzar un color dorado más fuerte (**Fig.49**).

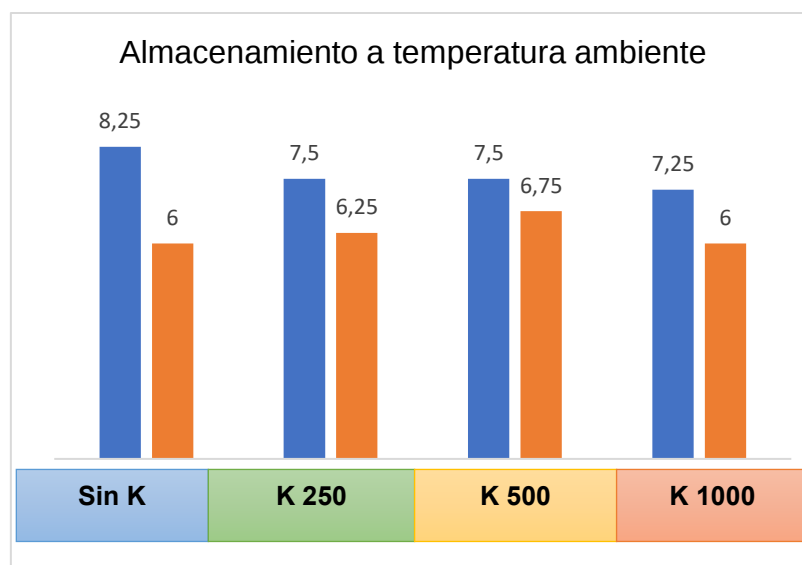


Fig.49. Gráfica en la que se muestra la puntuación en valoración de color para patatas fritas, después del almacenamiento a temperatura ambiente (14-18°C), según la dosis de abonado potásico y de la temperatura de fritura (azul: T1: 165°C; naranja: T2:190°C).

En resumen, en la **Fig.50**, se muestran los valores medios de las puntuaciones obtenidas en valoración de color y aspecto de las patatas fritas, de forma organizada, de mayor a menor puntuación, para ver las diferencias más claramente.

Según los datos reflejados en la **Fig.50**, podemos ver que, como hemos dicho, **la mejor valoración de color y aspecto resultó para las patatas almacenadas en condiciones de conservación** (temperaturas entre 6 y 8°C), tanto sin abonado potásico, como para las dosis de 250 y 1000 kg/ha de potasa, así como para almacenamiento a temperatura ambiente sin abonado de K, y siempre **para la temperatura más baja de fritura** (T1:165°C), obteniendo valores de 8,25 en una escala de 9.

Son destacables los reducidos valores de puntuación de color y aspecto obtenidos para el almacenamiento en frío, en todos los casos de abonado de las parcelas con K y, principalmente, para la temperatura de fritura más alta (T2:190°C).

Estos valores se relacionan precisamente con los niveles de acrilamida obtenidos, coincidiendo los peores valores de puntuación, con el contenido más elevado de este compuesto, y viceversa.

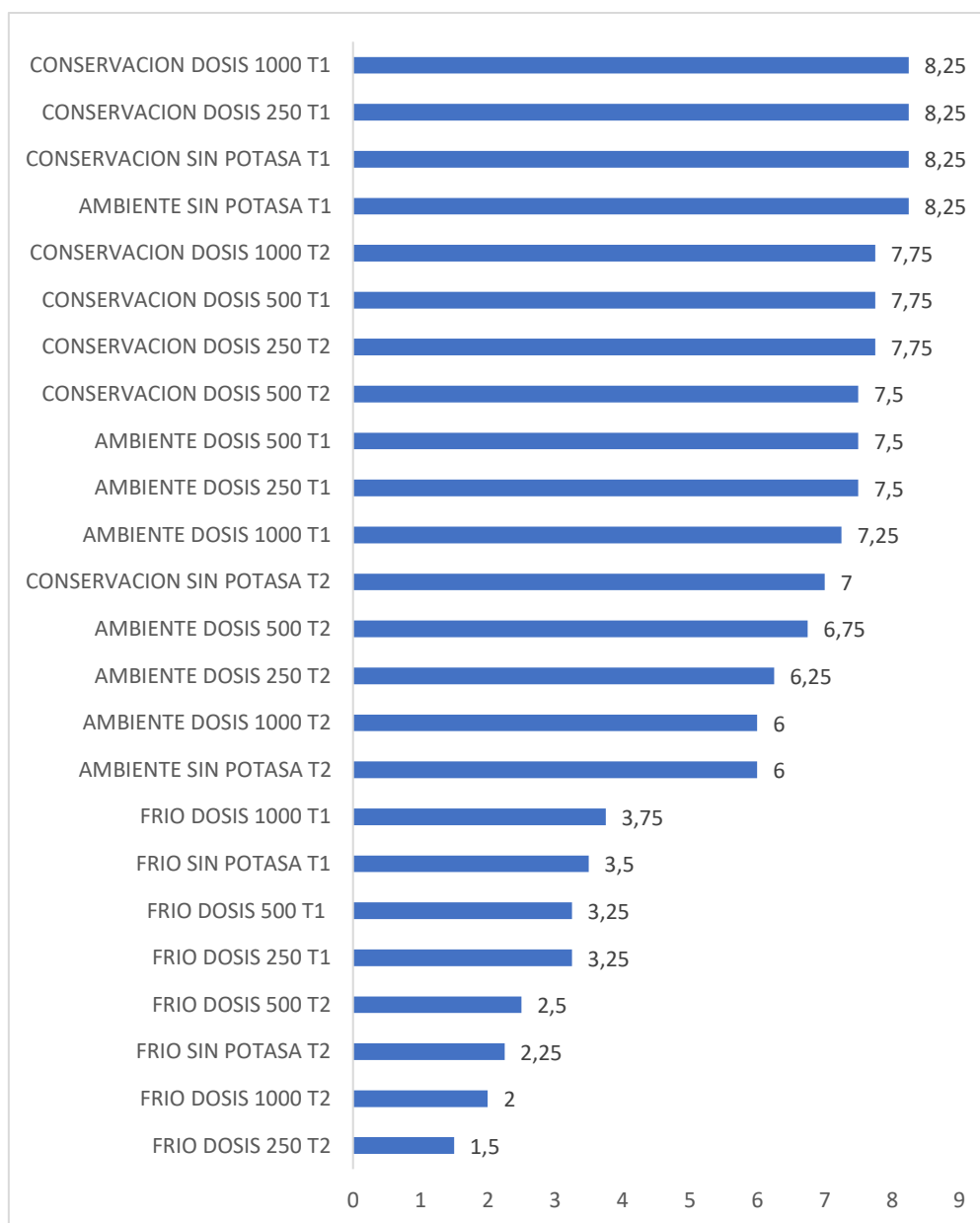


Fig.50. Gráfica en la que se muestra de forma ordenada, de mayor a menor puntuación, la valoración de color para patatas fritas tipo *chips*, después del almacenamiento (FRÍO, AMBIENTE, CONSERVACIÓN), según la dosis de abonado potásico y de la temperatura de fritura (T1: 165°C; T2:190°C).

5.4.2. Porcentaje de patatas fritas desechadas

El **porcentaje de frito desechable** se calculó después de hacer la **valoración del color del producto frito**, pesando las patatas *chips* que serían descartables con respecto al total.

Se ha tenido en cuenta, al igual que en apartado anterior, para el porcentaje de patatas descartadas después del proceso de fritura (como parámetro de calidad), el **nivel de abonado en potasio** (sin potasio, y con aporte de 250, 500 y 1000 kg/ha de sulfato potásico), la **temperatura de almacenamiento** (de **0 a 4°C** “FRÍO”, de **6 a 8°C** “CONSERVACIÓN” y de **14 a 18°C** “AMBIENTE”) y la **temperatura de fritura** (T1:165°C y T2:190°C). Como ya se ha mencionado, para cada lote se hicieron 4 réplicas de las parcelas en las mismas condiciones de tratamiento.

Una vez cocinadas las patatas, y considerando las dos temperaturas de fritura estudiadas, se observó que **el porcentaje de patatas desechadas se incrementó con la temperatura a la que fueron sometidas**, aunque existieron algunas variaciones entre muestras del mismo lote.

A continuación, vamos a describir los datos obtenidos en función de la temperatura de almacenamiento, que fue el factor que más influyó en la calidad del producto obtenido (al igual que sucedía con los parámetros de color en frito) considerando además la dosis de abonado potásico y la temperatura de fritura (**Tablas 12, 13 y 14; Fig.51**).

Encontramos que **la conservación del tubérculo en frío** (por debajo de 4°C) **influyó claramente la calidad de las patatas fritas obtenidas**, para ambas temperaturas de fritura, aunque principalmente para la más elevada (T2: 190°C). En todos los casos, **resultaron patatas con defectos visuales** (color muy oscuro, patatas no aptas para consumo), con los porcentajes más altos en las patatas obtenidas de las parcelas con el abonado de potasio 250 kg/ha (92,5% de patatas descartadas) y 1000 kg/ha (90% de patatas no aptas) (**Tabla 12**). Estos resultados son concordantes con los encontrados en la valoración de calidad por color de fritura.

Tabla 12. Porcentaje de patatas descartadas considerando la dosis de abonado y la temperatura de fritura (T1:165 y T2:190°C) después del almacenamiento del tubérculo en frío (0 a 4°C).

Almacenamiento en frío	Total	Desv.	T1	Desv.	T2	Desv.
SIN POTASIO	72,50%	16,69%	60,00%	8,16%	85,00%	12,91%
BAJA POTASIO (250)	75,00%	23,90%	57,50%	20,62%	92,50%	9,57%
MEDIA POTASIO (500)	68,75%	14,58%	60,00%	14,14%	77,50%	9,57%
ALTA POTASIO (1000)	67,50%	31,05%	45,00%	28,87%	90,00%	8,16%

Desv.: desviación típica de la media.

Con posterioridad al **almacenado en condiciones de conservación (6-8°C)**, se obtuvieron **tubérculos con escasos defectos** después de someterse al tratamiento térmico, consiguiendo los mejores resultados para la fertilización media de potasio (500 kg/ha), **resultando con patatas fritas de aspecto adecuado**, con color amarillo dorado, y para ambas temperaturas de fritura. Encontramos lotes con un porcentaje de descarte reducido en el resto de casos, destacando el caso más elevado, de un 7,5% de patatas desechadas para la dosis más alta de abonado potásico (1000 kg/ha) y la temperatura más elevada de fritura (T2:190°C) (**Tabla 13**).

Tabla 13. Porcentaje de patatas descartadas considerando la dosis de abonado y la temperatura de fritura (T1:165 y T2:190°C) después del almacenamiento del tubérculo en condiciones de conservación (6 a 8°C).

Almacenamiento en conservación	Total	Desv.	T1	Desv.	T2	Desv.
SIN POTASIO	3,13%	5,94%	2,50%	5,00%	3,75%	3,75%
BAJA POTASIO (250)	5,63%	6,78%	5,00%	7,07%	6,25%	7,50%
MEDIA POTASIO (500)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
ALTA POTASIO (1000)	5,63%	8,21%	3,75%	7,50%	7,50%	9,57%

Desv.: desviación típica de la media.

Por último, podemos observar que, para la **conservación a temperatura ambiente**, se consiguieron los **mejores resultados de calidad de patatas fritas**. Así, se obtuvieron patatas sin defectos después de freír, con un aspecto adecuado prácticamente en la mayoría de los casos para ambas temperaturas de cocinado. Solamente se encontró un reducido porcentaje de patatas no aptas en aquellas obtenidas de las parcelas sin abonado en potasio (5% de patatas desechadas) en alguna de las réplicas de los lotes estudiados (**Tabla 14**).

Tabla 14. Porcentaje de patatas descartadas considerando la dosis de abonado y la temperatura de fritura (T1:165 y T2:190°C) después del almacenamiento del tubérculo a temperatura ambiente (14 a 18°C).

Almacenamiento ambiente	Total	Desv.	T1	Desv.	T2	Desv.
SIN POTASIO	2,50%	4,63%	0,00%	0,00%	5,00%	5,77%
BAJA POTASIO (250)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
MEDIA POTASIO (500)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
ALTA POTASIO (1000)	0,25%	0,71%	0,00%	0,00%	0,50%	1,00%

Desv.: desviación típica de la media.

En la **Fig.57** se reflejan estos mismos resultados de forma más visual. Se observa que claramente **la temperatura de almacenamiento fue el factor determinante en la obtención de patatas fritas de calidad**, con elevados porcentajes de patatas descartadas para las condiciones de almacenamiento en frío (0-4°C), y principalmente para la temperatura de cocinado más elevada (190°C, en naranja), con respecto a la de 165°C (en azul).

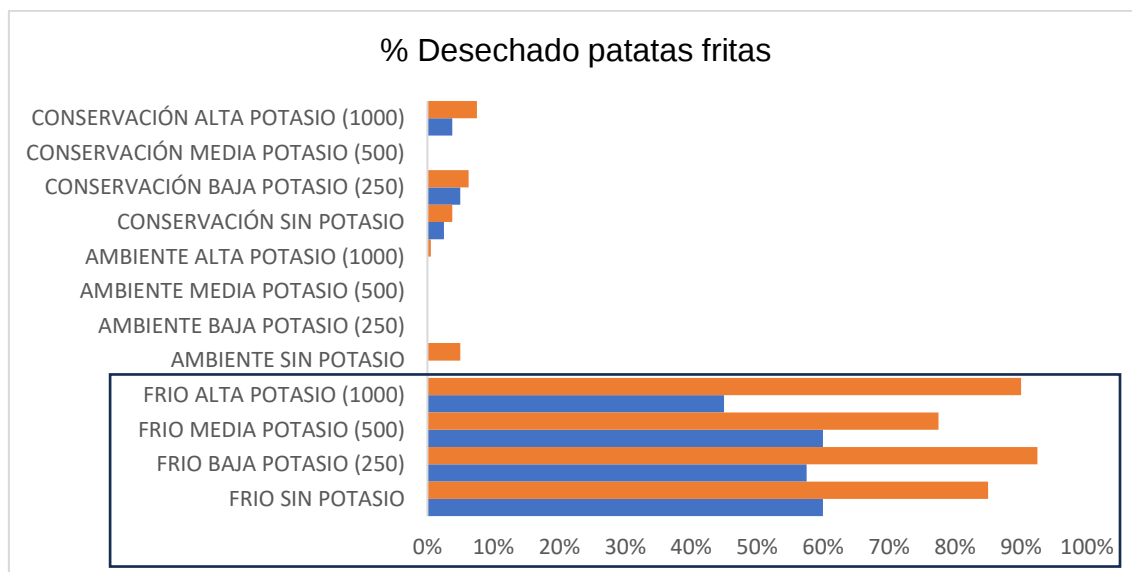


Fig.51. Gráfica en la que se muestra el porcentaje de defectos obtenido en patatas fritas, en función de la temperatura de conservación, la dosis de abonado potásico y de la temperatura de fritura.
Azul: T1: 165°C; naranja: T2: 190°C.

A continuación, se exponen imágenes de las muestras de patatas obtenidas para cada lote, **distinguiendo entre las distintas temperaturas de almacenamiento**.

En primer lugar, se observan las patatas sometidas a **almacenamiento en frío** (0-4°C), diferenciando entre la temperatura de fritura **T1 (bandejas color blanco)** y **T2 (bandejas color negro)** (**Fig.52 a 55**). Las muestras se denominaron de F1 a F16 (F: conservación en FRÍO). Los números de 1 a 16 están relacionados con la dosis de potasio aplicada a cada parcela, y su significado se muestra en la **Tabla 15**.

Tabla 15. Correspondencia de los números de las bandejas (nomenclatura de 1 a 16).
Nótese que hay cuatro repeticiones para cada abonado.

Abonado en Potasio	Correspondencia
SIN aporte de POTASIO	1
	2
	3
	4
250 kg/ha POTASIO	5
	6
	7
	8
500 kg/ha POTASIO	9
	10
	11
	12
1000 kg/ha POTASIO	13
	14
	15
	16

Almacenamiento en FRÍO

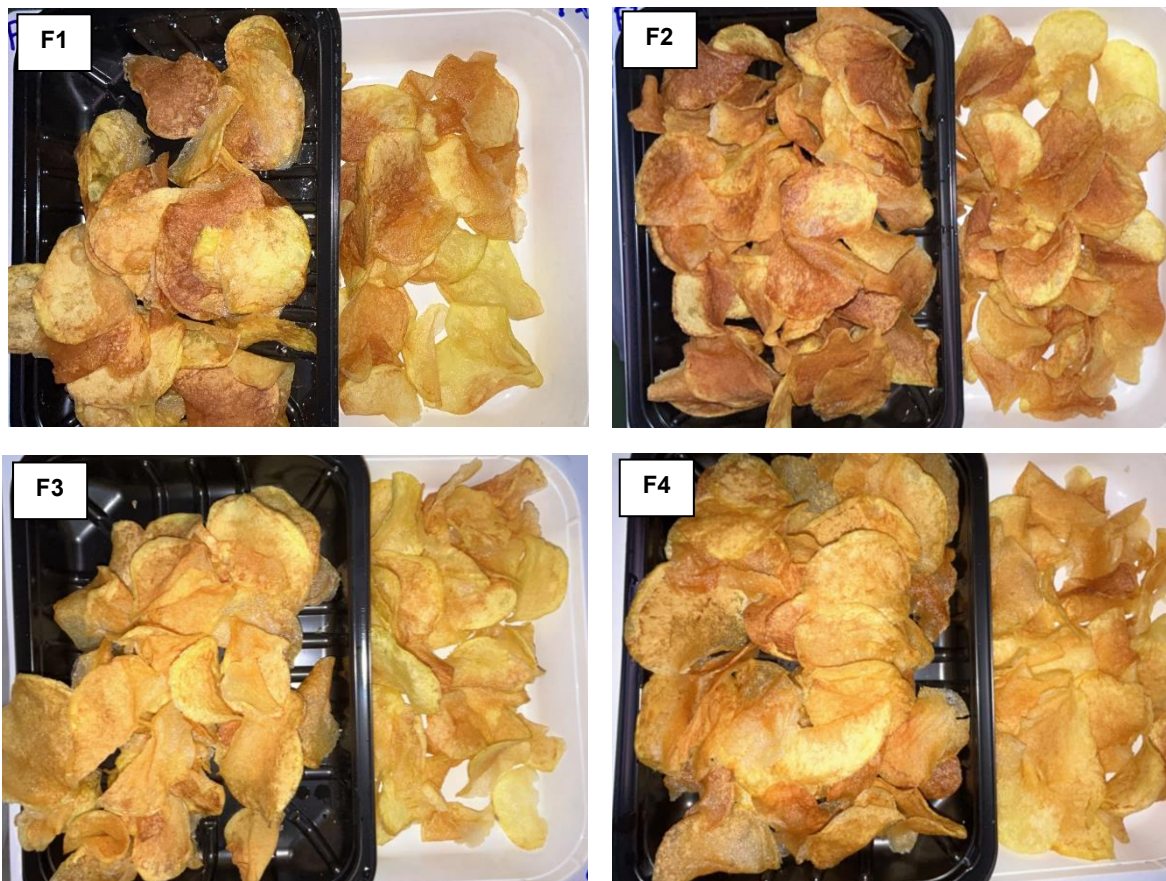


Fig.52. Imágenes de las muestras de patatas fritas obtenidas, después del **almacenamiento en frío (0-4°C)**, a temperatura de fritura T1 (bandejas color blanco) y T2 (bandejas color negro) y **SIN APOORTE DE POTASIO** en el abonado.

En las imágenes se puede apreciar que, para las **patatas almacenadas en frío, sin aporte de fertilización potásica**, y considerando las dos temperaturas de fritura estudiadas (T1:165°C y T2: 190°C), tenemos **patatas no aceptables** en todos los casos, por tener un color muy oscuro, **indicativo de un alto contenido en acrilamida**.

Almacenamiento en FRÍO

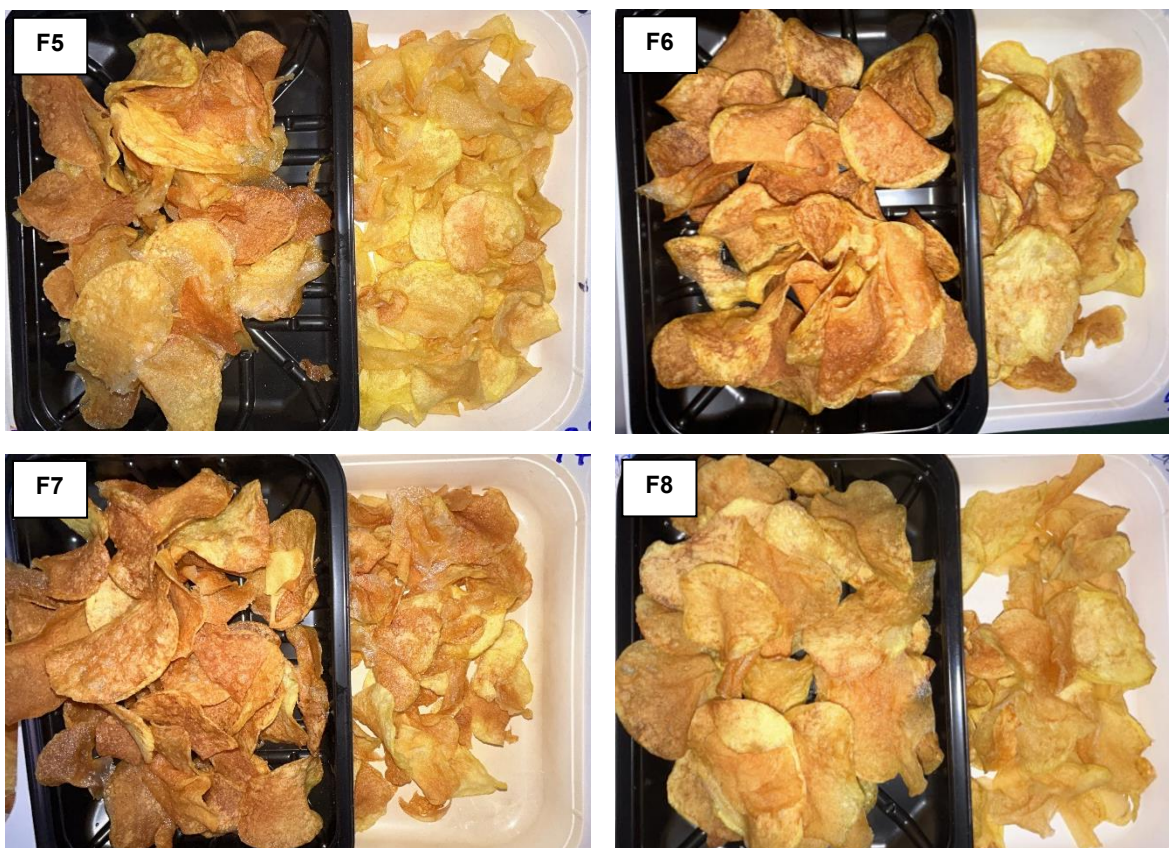


Fig.53. Imágenes de las muestras de patatas fritas obtenidas, después del **almacenamiento en frío (0-4°C)**, a temperatura de fritura T1 (bandejas color blanco) y T2 (bandejas color negro) y **CON APOORTE DE POTASIO de 250 kg/ha** en el abonado.

De nuevo, según las imágenes, para las **patatas almacenadas en frío**, con **aporte bajo de fertilización potásica (250 kg/ha)**, resultaron con un color muy oscuro, siendo **no aceptables** en todos los casos, por ser **indicativo de altos niveles en acrilamida**.

Almacenamiento en FRÍO

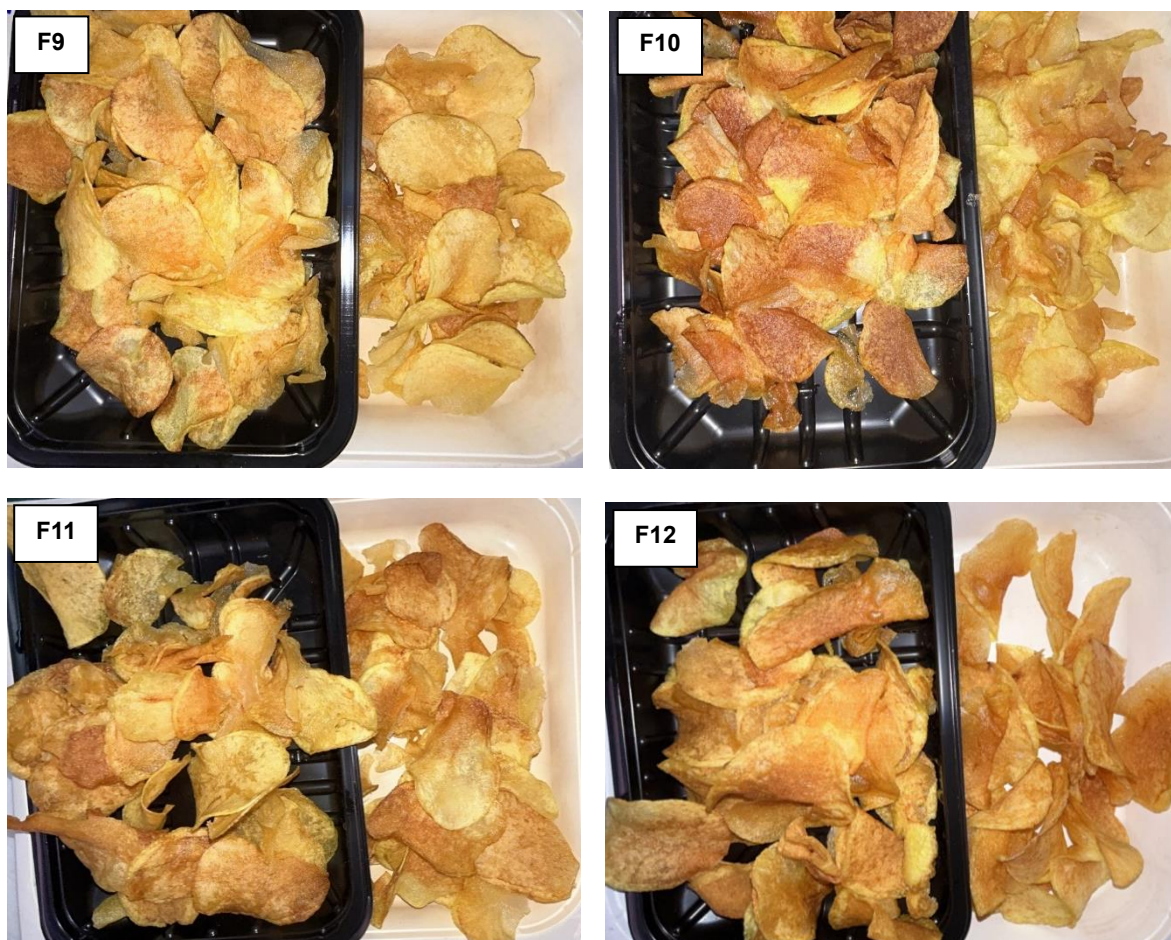


Fig.54. Imágenes de las muestras de patatas fritas obtenidas, después del **almacenamiento en frío (0-4°C)**, a temperatura de fritura T1 (bandejas color blanco) y T2 (bandejas color negro) y **CON APOORTE DE POTASIO de 500 kg/ha** en el abonado.

Las patatas fritas resultantes después de almacenamiento en condiciones de frío, **con aporte medio de fertilización potásica (500 kg/ha)**, alcanzaron un color marrón oscuro y **no fueron aceptables** en todos los casos, aunque fundamentalmente para la temperatura de fritura más alta (bandeja negra: T2).

Almacenamiento en FRÍO

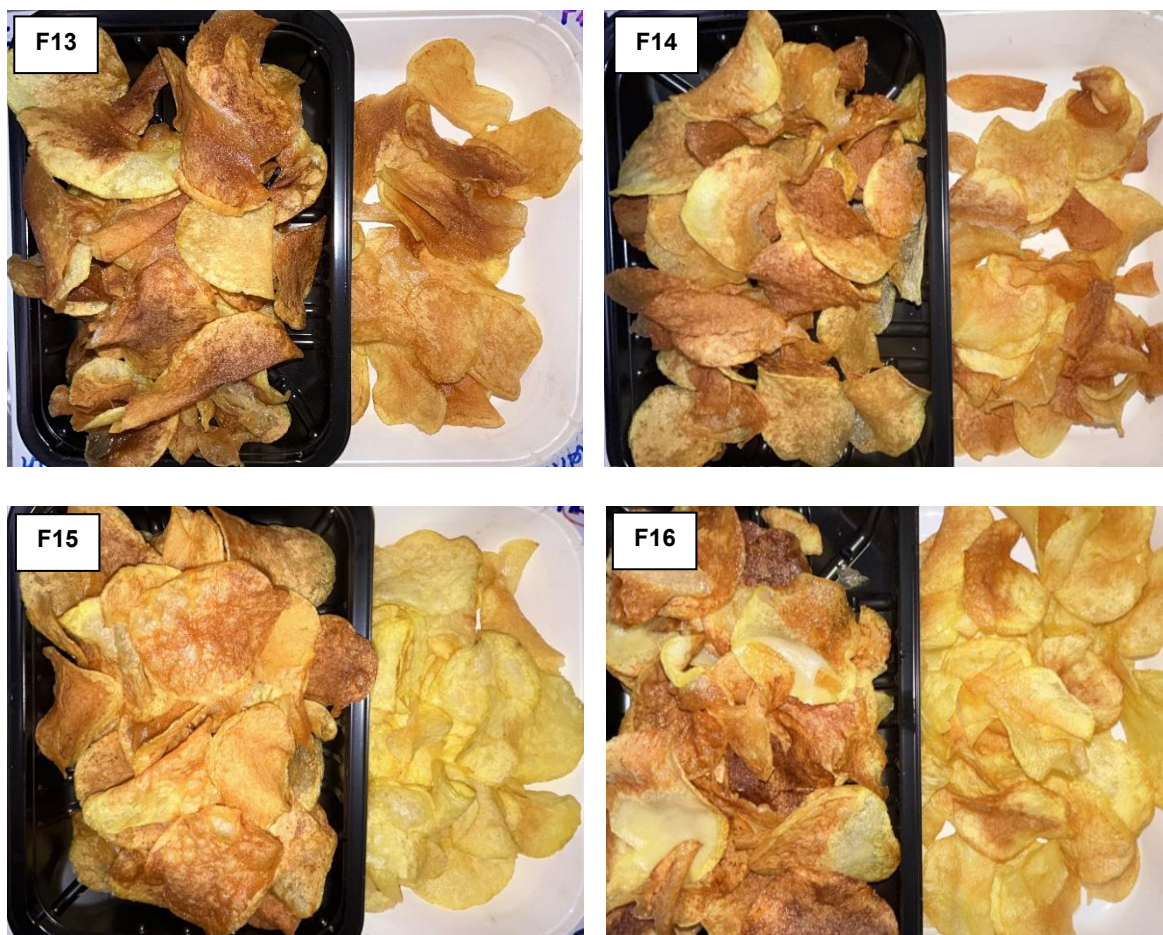


Fig.55. Imágenes de las muestras de patatas fritas obtenidas, después del **almacenamiento en frío (0-4°C)**, a temperatura de fritura T1 (bandejas color blanco) y T2 (bandejas color negro) y **CON APOORTE DE POTASIO de 1000 kg/ha** en el abonado.

Finalmente, las patatas fritas obtenidas después del almacenamiento en frío, **con aporte alto de abonado potásico (1000 kg/ha)**, resultaron patatas con un color oscuro, principalmente para la temperatura de fritura más elevada (ver F15 y F16).

A continuación, se muestran las **patatas almacenadas en condiciones de conservación (6-8°C)**, diferenciando entre la temperatura de fritura **T1 (bandejas color blanco)** y **T2 (bandejas color negro)**. Las muestras se denominaron de C1 a C16 (C: almacenamiento en CONSERVACIÓN) (**Fig. 56 a 59**). Los números de 1 a 16 están relacionados con la dosis de potasio aplicada a cada parcela, y su significado se muestra en la **Tabla 15**.

Puede comprobarse visualmente lo que se ha mencionado anteriormente, es decir, **se obtuvieron patatas fritas de un aspecto adecuado en todos los casos de abonado (0, 250, 500 y 1000 kg/ha), de color dorado para ambas temperaturas de fritura.**

Almacenamiento en condiciones de CONSERVACIÓN (óptimas)

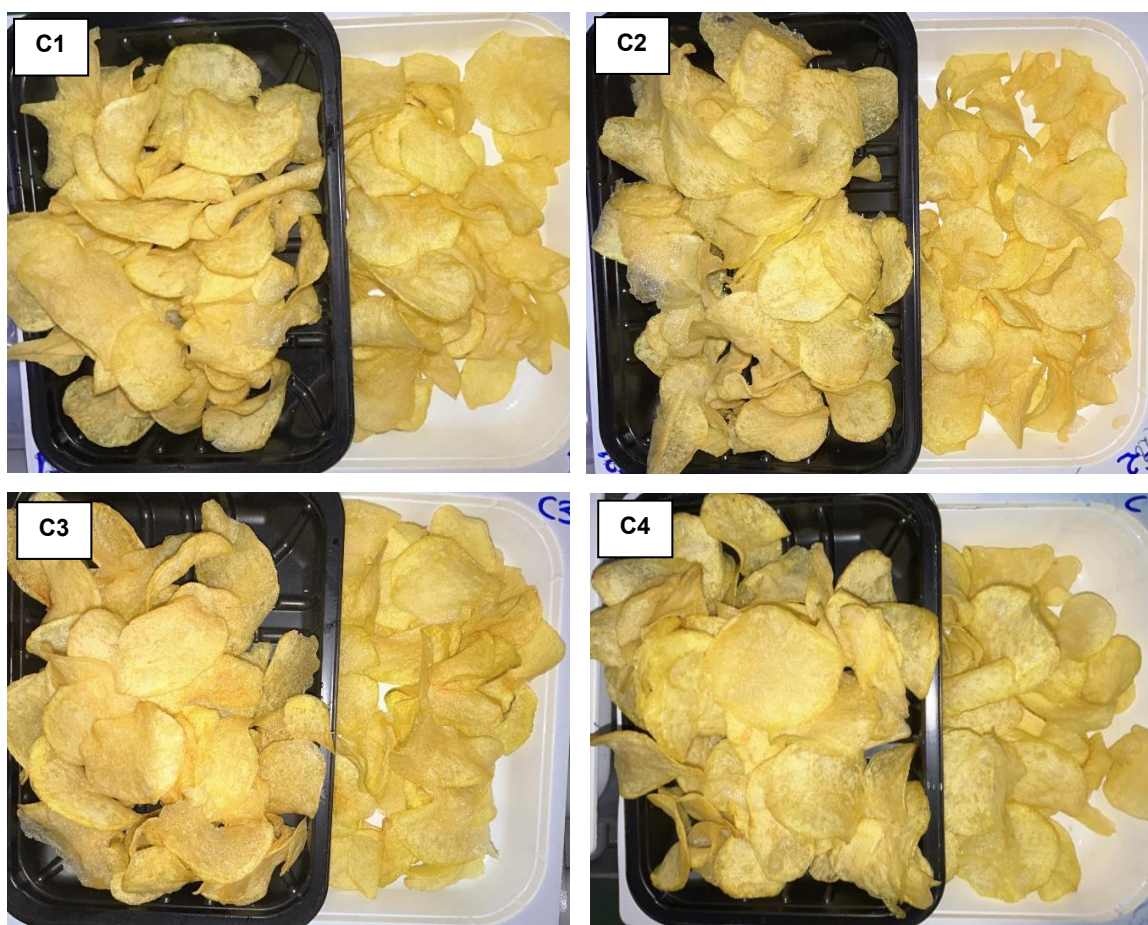


Fig.56. Imágenes de las muestras de patatas fritas obtenidas, después del **almacenamiento en conservación (6-8°C)**, a temperatura de fritura T1 (bandejas color blanco) y T2 (bandejas color negro) y **SIN APOORTE DE POTASIO** en el abonado.

Almacenamiento en condiciones de CONSERVACIÓN (óptimas)

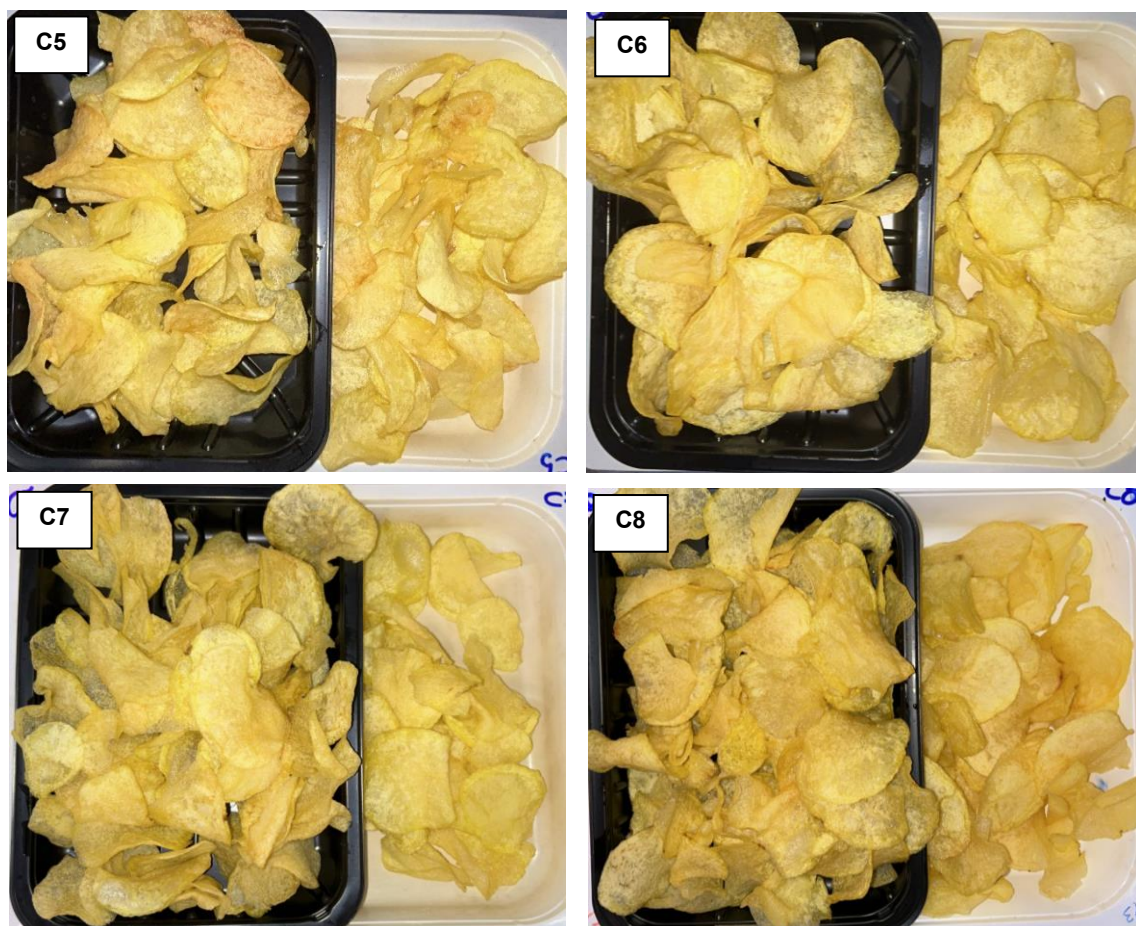


Fig.57. Imágenes de las muestras de patatas fritas obtenidas, después del **almacenamiento en conservación (6-8°C)**, a temperatura de fritura T1 (bandejas color blanco) y T2 (bandejas color negro) y **CON APORTE DE POTASIO 250 kg/ha** en el abonado.

Almacenamiento en condiciones de CONSERVACIÓN (óptimas)

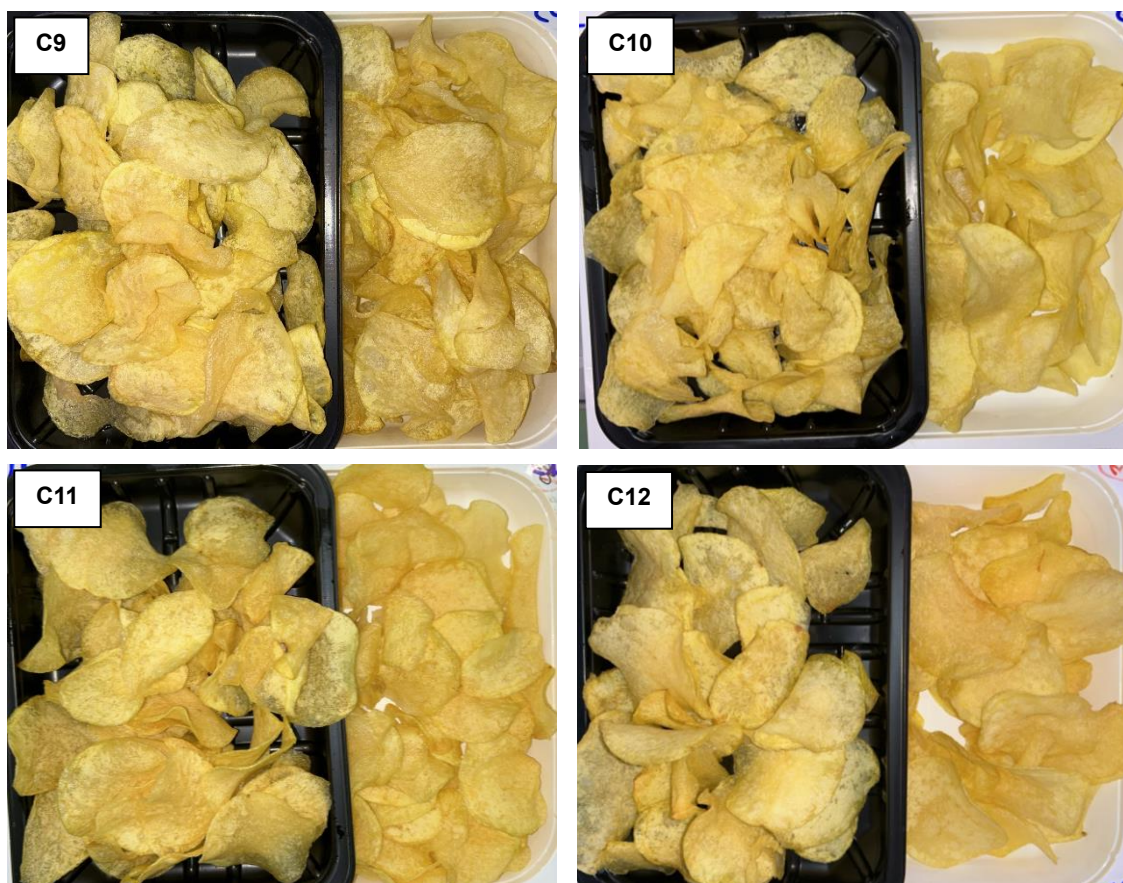


Fig.58. Imágenes de las muestras de patatas fritas obtenidas, después del **almacenamiento en conservación (6-8°C)**, a temperatura de fritura T1 (bandejas color blanco) y T2 (bandejas color negro) y **CON APOORTE DE POTASIO 500 kg/ha** en el abonado.

Almacenamiento en condiciones de CONSERVACIÓN (óptimas)

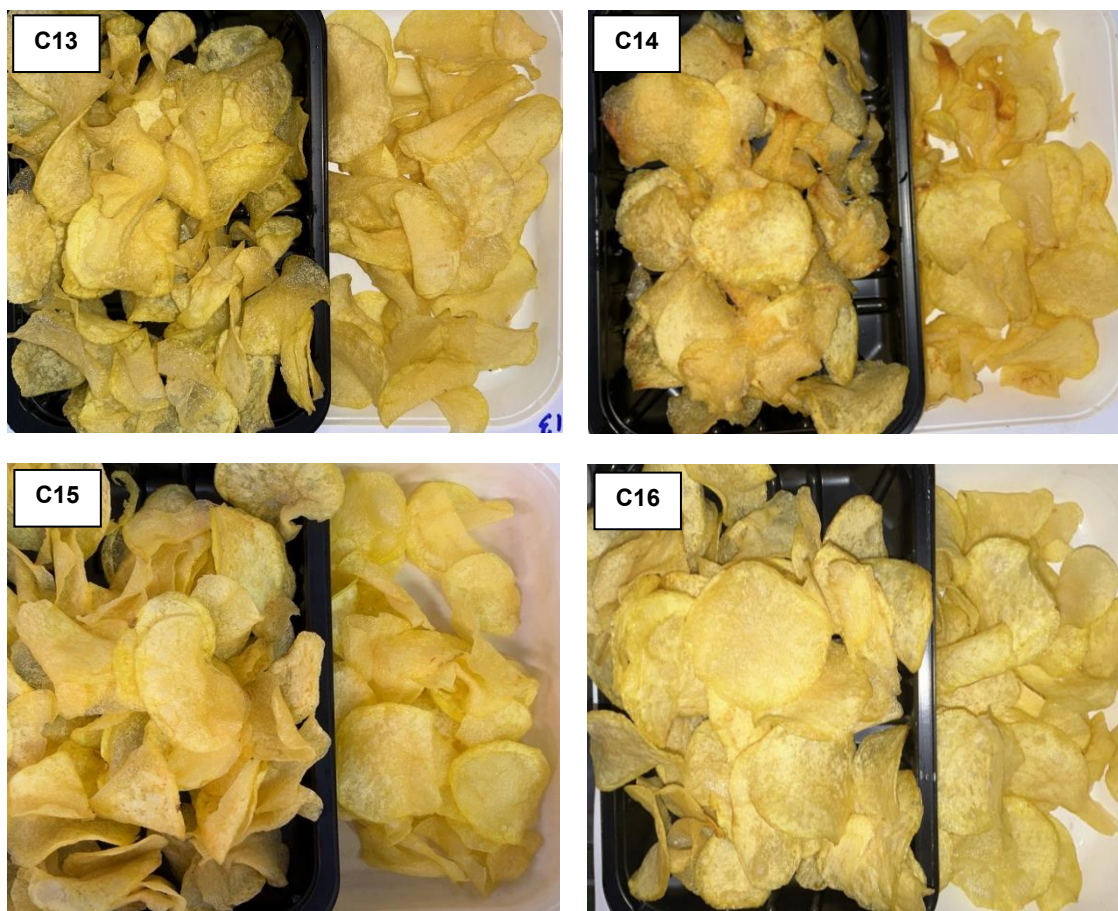


Fig.59. Imágenes de las muestras de patatas fritas obtenidas, después del **almacenamiento en conservación (6-8°C)**, a temperatura de fritura T1 (bandejas color blanco) y T2 (bandejas color negro) y **CON APOORTE DE POTASIO 1000 kg/ha** en el abonado.

Por último, se muestran las **patatas almacenadas en condiciones de temperatura ambiente (14-18°C)**, diferenciando entre la temperatura de fritura **T1 (bandejas color blanco)** y **T2 (bandejas color negro)**. Las muestras se denominaron de A1 a A16 (A: almacenamiento a temperatura AMBIENTE) (**Fig.60 a 63**). Los números de 1 a 16 están relacionados con la dosis de potasio aplicada a cada parcela, y su interpretación se muestra en la **Tabla 15**.

En las imágenes se corrobora lo descrito con anterioridad, esto es, las **patatas fritas tienen un color y aspecto adecuados, de color dorado, para ambas temperaturas de fritura y para todas las dosis de abonado potásico evaluadas (0, 250, 500 y 1000 kg/ha)**.

Almacenamiento en condiciones de temperatura AMBIENTE

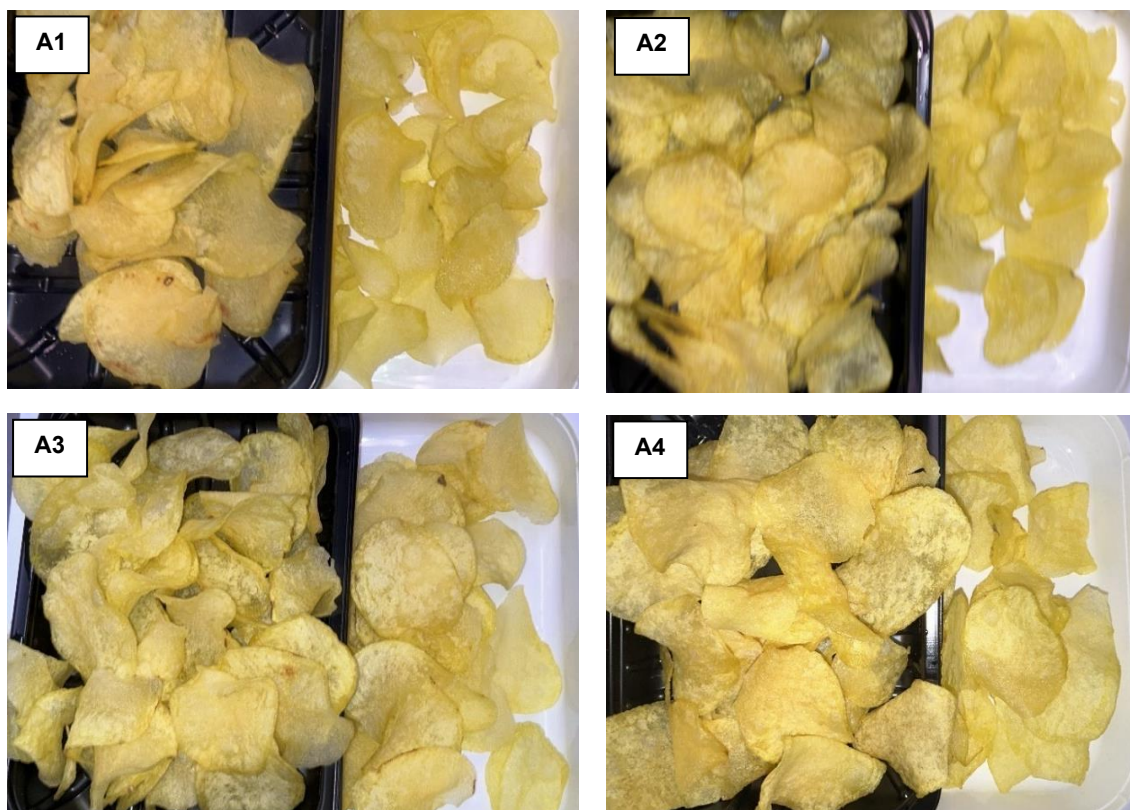


Fig.60. Imágenes de las muestras de patatas fritas obtenidas, después del **almacenamiento a temperatura ambiente (14-18°C)**, a temperatura de fritura T1 (bandejas color blanco) y T2 (bandejas color negro) y **SIN APOORTE DE POTASIO** en el abonado.

Almacenamiento en condiciones de temperatura AMBIENTE

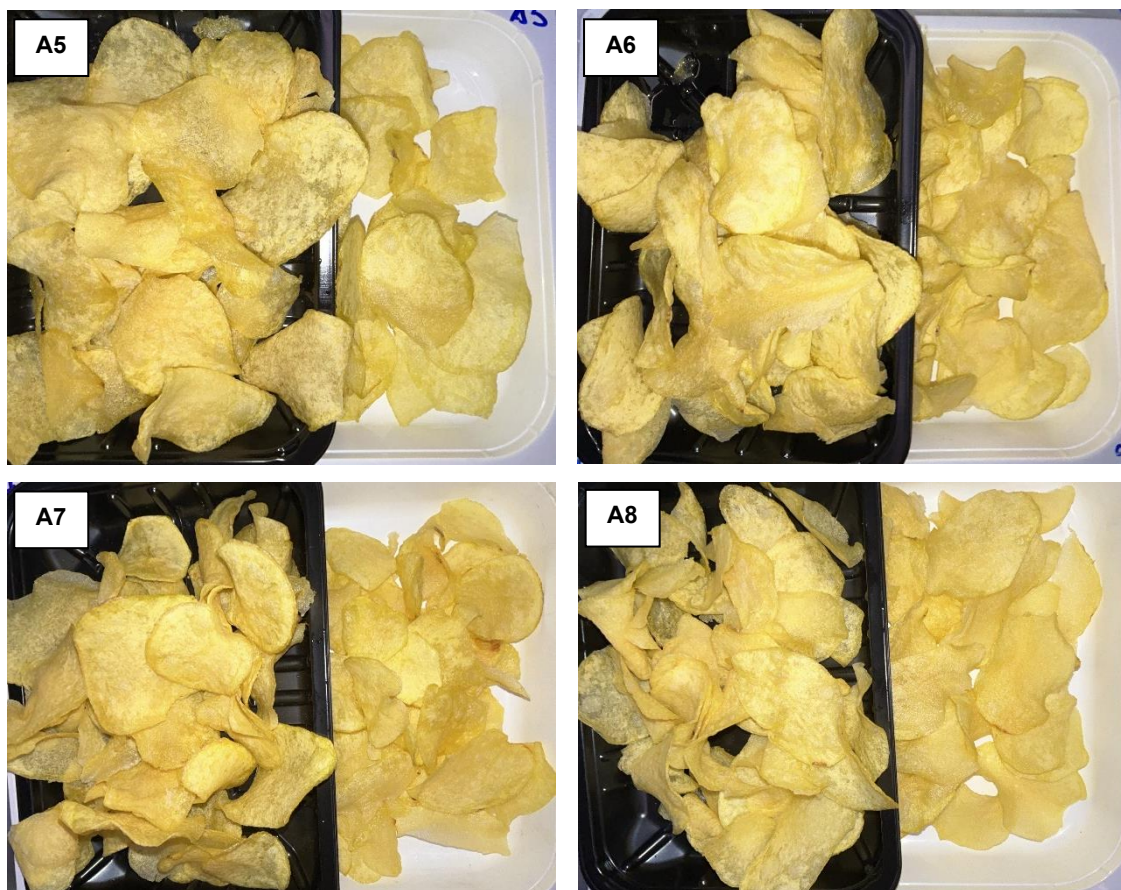


Fig.61. Imágenes de las muestras de patatas fritas obtenidas, después del **almacenamiento a temperatura ambiente (14-18°C)**, a temperatura de fritura T1 (bandejas color blanco) y T2 (bandejas color negro) y **CON APOORTE DE POTASIO de 250 kg/ha** en el abonado.

Almacenamiento en condiciones de temperatura AMBIENTE

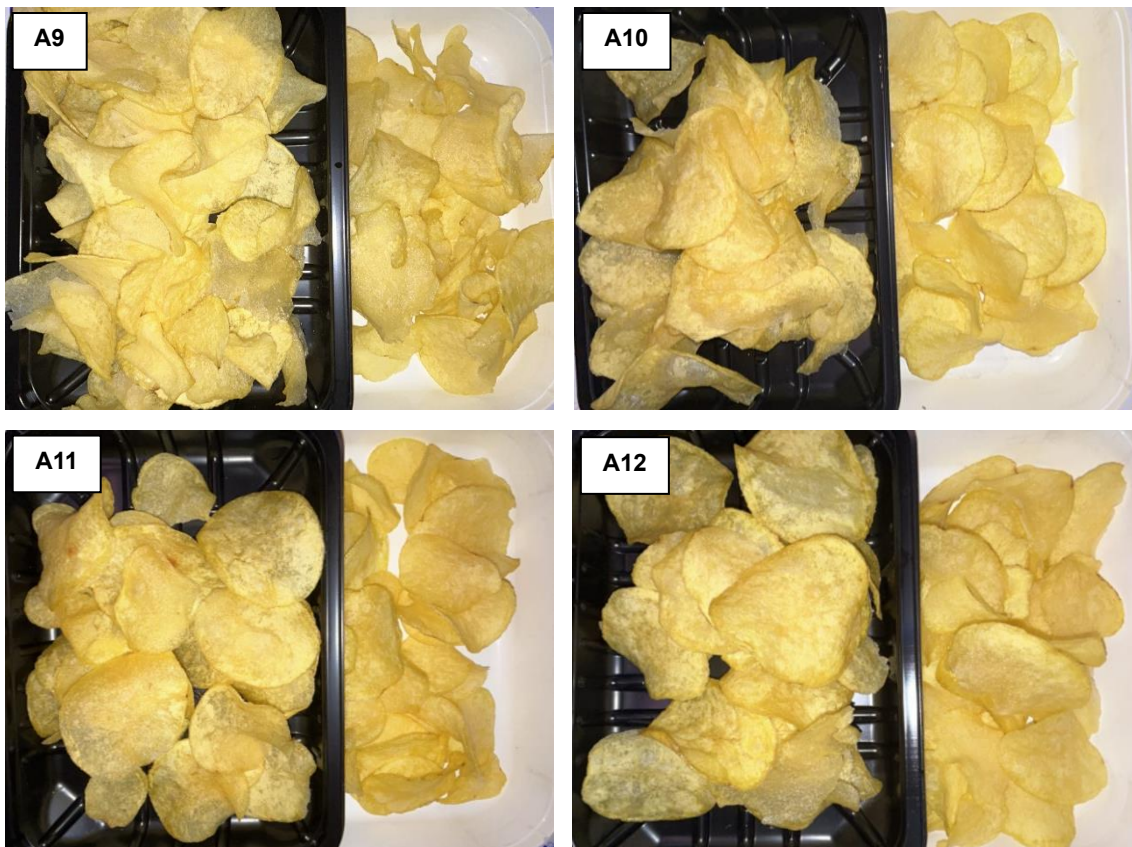


Fig.62. Imágenes de las muestras de patatas fritas obtenidas, después del **almacenamiento a temperatura ambiente (14-18°C)**, a temperatura de fritura T1 (bandejas color blanco) y T2 (bandejas color negro) y **CON APOORTE DE POTASIO de 500 kg/ha** en el abonado.

Almacenamiento en condiciones de temperatura AMBIENTE

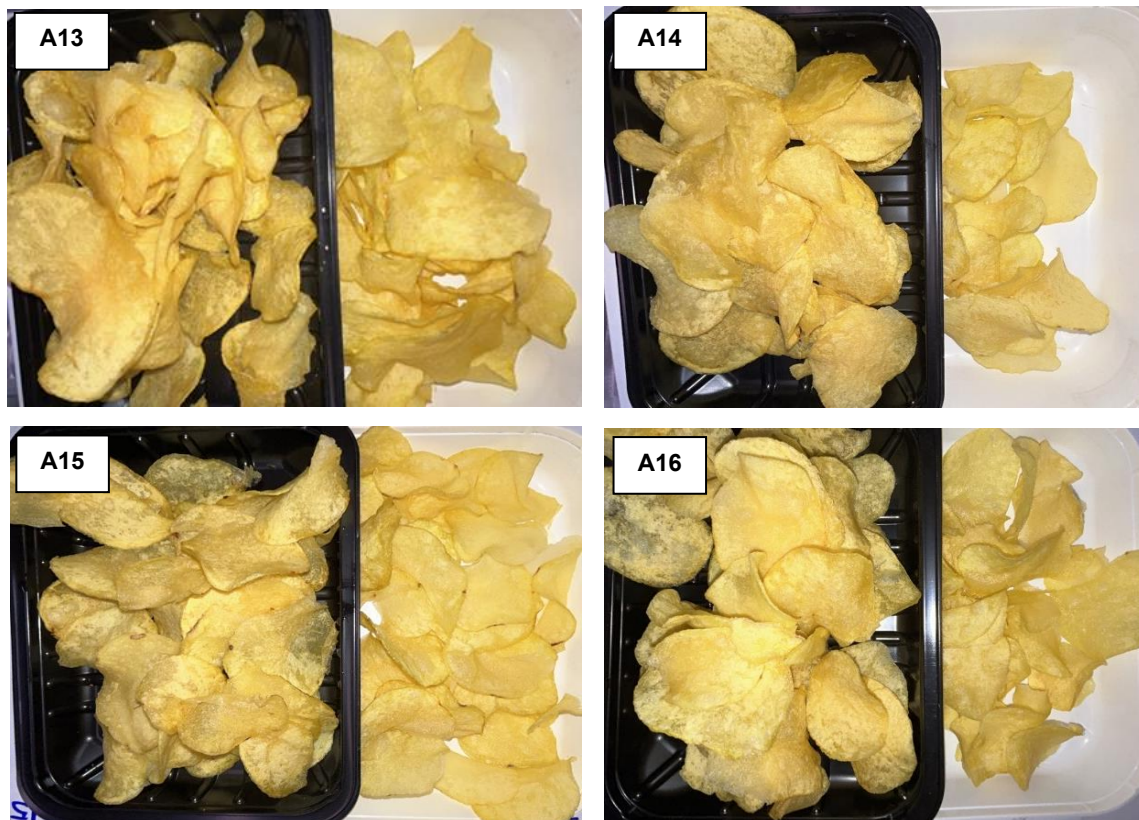


Fig.63. Imágenes de las muestras de patatas fritas obtenidas, después del **almacenamiento a temperatura ambiente (14-18°C)**, a temperatura de fritura T1 (bandejas color blanco) y T2 (bandejas color negro) y **CON APOORTE DE POTASIO de 1000 kg/ha** en el abonado.

5.9. Relación del contenido en acrilamida con el abonado, la temperatura de conservación y la temperatura de fritura

A continuación, se muestran los resultados obtenidos para el contenido de acrilamida, parámetros de color y porcentaje de defectos en patatas fritas, en función de la dosis de abonado potásico, la temperatura de almacenamiento (conservación) y la temperatura de fritura (**Tabla 16**).

Tabla 16. Valores promedio y la desviación estándar de cada parámetro (acrilamida, color y defectos) e interacciones entre ellos.

Dosis abonado K (kg/ha)	Almacenamiento (conservación)	Temperatura fritura (°C)	Acrilamida (µg/kg)	Color (1-9)	Defectos (%)
Sin K	Ambiente	165	209,64±191,45	8,25±0,50	0,00±0,00
		190	942,42±369,25	6,00±1,15	5,00±5,77
	Conservación	165	110,14±43,46	8,25±0,50	2,50±5,00
		190	294,75±151,10	7,00±0,82	3,75±7,50
	Frío	165	376,22±89,57	8,25±0,96	60,00±8,16
		190	769,10±160,23	7,75±0,50	85,00±12,91
Potasio 250	Ambiente	165	414,93±127,23	7,50±0,58	0,00±0,00
		190	1089,85±361,63	6,25±0,50	0,00±0,00
	Conservación	165	189,92±81,68	8,25±0,96	5,00±7,07
		190	183,87±103,69	7,75±0,50	6,25±7,50
	Frío	165	397,31±68,30	3,25±0,96	57,50±20,62
		190	964,24±141,84	1,50±0,58	92,50±9,57
Potasio 500	Ambiente	165	941,62±439,45	7,50±0,58	0,00±0,00
		190	1377,99±608,19	6,75±0,96	0,00±0,00
	Conservación	165	269,51±120,90	3,75±1,71	0,00±0,00
		190	379,66±140,82	2,00±0,82	0,00±0,00
	Frío	165	631,06±347,80	3,25±0,96	60,00±14,14
		190	942,92±222,53	2,50±0,58	77,50±9,57
Potasio 1000	Ambiente	165	839,59±98,74	7,25±0,50	0,00±0,00
		190	1673,31±565,71	6,00±0,00	0,50±1,00
	Conservación	165	247,38±101,87	7,75±0,50	3,75±7,50
		190	422,74±302,79	7,50±0,58	7,50±9,57
	Frío	165	403,40±315,43	8,25±0,96	45,00±28,87
		190	725,77±303,62	7,75±1,50	90,00±8,16
	SEM		47,94	0,24	3,58
	SIG	Abonado (A)	***	***	n.s.
		Almacenamiento (conservación) (C)	***	***	***
		Temperatura fritura (T)	***	***	***
		A x C	**	***	n.s.
		A x T	n.s.	n.s.	n.s.
		C x T	**	n.s.	***
		A x C x T	n.s.	n.s.	n.s.

SEM: Error Estándar de la Media; SIG: Significancia.

A: significancia del efecto de la dosis de abonado potásico; C: significancia del efecto de la temperatura de almacenamiento (conservación); T: significancia del efecto de la temperatura de fritura.

A x C: interacción de la dosis de abonado potásico y la temperatura de almacenamiento (conservación); A x T: interacción de la dosis de abonado potásico y la temperatura de fritura; C x T: interacción de la temperatura de almacenamiento (conservación) y la temperatura de fritura; A x C x T: interacción de los 3 factores: abonado potásico, temperatura de almacenamiento (conservación) y la temperatura de fritura.

n.s.: no significativo.

* ($P < 0,05$); ** ($P < 0,01$); *** ($P < 0,001$).

En la **Tabla 16** se muestran los valores promedio y la desviación estándar de cada parámetro (acrilamida, color o defectos), así como las distintas interacciones entre ellos. Para ello, empleó el software *SPSS Statistics 14.0*, y se aplicó el *Test de Duncan* para determinar si existía o no diferencia significativa entre los resultados obtenidos, utilizando un nivel de significancia de $p < 0,05$.

Puede observarse que, aunque existe variabilidad entre los resultados de acrilamida resultantes, como ya hemos mencionado, la **temperatura de almacenamiento** y la **temperatura de fritura** tienen **influencia en el contenido de acrilamida en patatas fritas**.

Así, la **temperatura de almacenamiento** influyó **significativamente en la formación de acrilamida de las patatas fritas** ($P < 0,001$), fundamentalmente en las almacenadas a temperatura ambiente y en frío, obteniéndose los valores más elevados para la temperatura de fritura más alta (T2:190°C). Además, también se encontraron **diferencias significativas para el contenido en acrilamida en las patatas fritas en función del abonado** ($P < 0,001$), y la **temperatura de fritura** ($P < 0,001$) (**Tabla 16**).

Sabemos que este compuesto tóxico se origina en alimentos que contienen almidón al cocinarlos a temperaturas superiores a 120°C, por la reacción de los aminoácidos libres con los azúcares reductores (D-Glucosa y D-Fructosa) en las *reacciones de Maillard*. Estas reacciones son las responsables de las propiedades sensoriales de sabor y color; no obstante, es también el mecanismo principal para la formación de acrilamida (Elmore *et al.*, 2015; Genovese *et al.*, 2019). Por ello, la EFSA recomienda no superar los 175°C en el proceso de fritura de las patatas para evitar un elevado contenido de acrilamida.

Si evaluamos las **interacciones entre los diferentes parámetros analizados**, tenemos que, en la interacción entre la dosis de abonado potásico y la temperatura de almacenamiento, también se obtuvieron diferencias significativas ($P < 0,01$), así como en interacción del almacenamiento y la temperatura de fritura ($P < 0,01$). Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas para la interacción entre el abonado con la temperatura de fritura.

Analizando los resultados del **color de las patatas fritas, la temperatura de almacenamiento influyó significativamente** ($P < 0,001$), al igual que ocurría con la formación de acrilamida. Asimismo, también se encontraron **diferencias significativas para el color de las patatas fritas en función del abonado** ($P < 0,001$), y **la temperatura de fritura** ($P < 0,001$) (**Tabla 16**).

Con respecto a la **valoración de la calidad de las patatas fritas** (determinada por el porcentaje de patatas con defectos), se obtuvo que ésta **no presentó diferencias significativas en función del abonado potásico**, pero sí considerando las diversas temperaturas de almacenamiento y fritura ($P < 0,001$). Además, si observamos la interacción de estos dos parámetros (la temperatura de almacenamiento y la temperatura de fritura), tenemos que también hubo diferencias significativas ($P < 0,001$).

Por tanto, todos estos resultados vienen a corroborar los planteamientos iniciales de este proyecto, a excepción de la influencia de los niveles de abonado potásico, en donde no se encontró una tendencia clara.

6. CONCLUSIONES

6.5. Conclusiones

Una vez realizados los ensayos de campo, de conservación de la patata cosechada y de fritura de la misma, y después de los análisis llevados a cabo, en vista de los resultados obtenidos, **podemos concluir que:**

1. **El abonado potásico no tuvo una influencia clara en los demás parámetros considerados.** No se apreció una tendencia evidente en la producción comercial de los tubérculos, ni en el contenido en materia seca de las patatas cosechadas. Tampoco en el origen de los azúcares reductores ni en la formación de acrilamida. Esto puede atribuirse a las condiciones climáticas excepcionales que afectaron al ciclo de la patata el pasado año, en el que se dieron varios episodios consecutivos de lluvias abundantes. Por ello, este año se están repitiendo los mismos ensayos de abonado y cultivo de la patata, para que puedan ser representativos y concordantes con los resultados reflejados en la bibliografía.
2. Evaluando el almacenamiento de las patatas cosechadas, se obtuvo que **la conservación a bajas temperaturas dio lugar a patatas con un mayor contenido en azúcares reductores y posteriormente chips con niveles muy elevados de acrilamida** (alcanzando un valor máximo de 1228,48 µg/kg, muy superior al valor de 750 µg/kg fijado como referencia). Por ello, es esencial encontrar las condiciones adecuadas durante la producción y almacenamiento de la patata, que limiten la formación de azúcares reductores, como precursores de la acrilamida.
3. La **conservación en frío originó patatas fritas de color marrón oscuro**, obteniéndose un **porcentaje de patatas desechadas elevado** en la mayoría de los casos. Los valores de color obtenidos en relación al contenido en acrilamida, posibilitarían la estimación de la cantidad de este compuesto a través de la colorimetría en patatas fritas.
4. La **conservación de las patatas entre 6 y 8°C resultó ser la mejor opción de almacenamiento**, obteniéndose patatas con menor contenido en azúcares reductores y acrilamida, y resultando patatas de un color de fritura adecuado.
5. La **temperatura de fritura más alta (190°C) aceleró la aparición de tostados y quemados**, fundamentalmente en las patatas almacenadas en frío.
6. El ensayo llevado a cabo con la variedad Agria, sería interesante repetirlo con otra variedad adecuada para fritura, e incluso podrían hacerse ensayos con variedades

foráneas que presenten buenas cualidades, con destino industrial de obtención de patatas *chips*.

7. Finalmente, es importante incidir en la **importancia de la conservación de las patatas en el rango óptimo (6-8°C)**, aunque ello suponga un incremento en el coste de climatización, ya que de ello depende la obtención de *chips* con niveles bajos de acrilamida. Así, mantener el tubérculo almacenado en un entorno de temperaturas adecuado y estable, minimiza la generación de azúcares reductores, y, por tanto, de acrilamida.

6.6. Beneficios que puedan derivar del proyecto: repercusión económica, medioambiental y social.

Este proyecto surgió de la necesidad de encontrar medidas de mitigación de la presencia de acrilamida en alimentos como las patatas fritas. Así, la finalidad del mismo fue poder **ofrecer al consumidor patatas fritas con niveles reducidos de este compuesto perjudicial**.

En primer lugar, las conclusiones obtenidas en este estudio han permitido generar conocimientos dentro del sector de la patata, y su aplicación daría lugar a la implantación de medidas en las distintas empresas relacionadas. Es decir, los resultados de este estudio, con su divulgación a agricultores, almacenistas y transformadores del producto, conllevaría la obtención de un producto de calidad con la mínima exposición del consumidor a la acrilamida.

Debe señalarse que una de las consecuencias derivadas del presente proyecto es la **utilización directa de tierras**, ya que éste implicó el uso de parcelas para los ensayos del cultivo de patatas.

Asimismo, debido al asesoramiento agronómico del cultivo, se llevó a cabo un uso apropiado de los productos fitosanitarios y fertilizantes, así como una adecuada gestión del agua de riego. De esta forma, se promovieron las técnicas que fomentaron la **conservación del medio y las mejoras ambientales**.

Por otra banda, el presente proyecto pretendió mantener y mejorar, en la medida de lo posible, la relación calidad/cantidad del cultivo de patata en la comarca de A Limia. Por ello, uno de sus objetivos fue ofrecer un **producto más seguro y saludable** (por su disminución en el contenido de acrilamida) y, de esta forma, más competitivo. Según el Reglamento 2017/2158, los fabricantes de productos a base de patata, deben utilizar variedades con menor potencial de formación de este compuesto durante el cultivo y el almacenamiento. Esto implica que se pueda potenciar el seguimiento de las medidas desarrolladas entre los productores locales, para ofrecer una variedad diferenciada, como forma de **revalorización del producto**.

Respecto al **impacto del proyecto sobre la productividad y la sostenibilidad**, es importante destacar que la optimización de las prácticas agrícolas, así como de las condiciones de almacenamiento y fritura durante el desarrollo del estudio, permitirán a los profesionales del sector aplicar estas medidas, lo que se podría traducir en **una reducción de los costes productivos finales**, así como un **incremento de la rentabilidad**. Además, la posibilidad de estimar la cantidad de acrilamida a través de la colorimetría en patatas fritas, supone un método rápido, económico y sencillo de implementar en la industria para la obtención de patatas con un mínimo contenido en acrilamida.

Finalmente, con lo anteriormente descrito, podemos deducir que el sector primario será el primer beneficiario de los resultados obtenidos en este proyecto, ya que podrá aplicar las prácticas agrícolas y de conservación de la patata para la obtención de un producto con el valor añadido de ser especialmente adecuado para freír, asegurando una reducción del contenido final de acrilamida. Los sectores secundario y terciario, también serán usuarios potenciales de los resultados de este estudio al poder optimizar el proceso de fabricación y comercializar patatas fritas más seguras en cuanto al contenido en acrilamida.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Alonso Arce, F. (1996). El cultivo de la patata. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, 272 pp.
- Allison M.F., Fowler J.H., Allen E.J. (2001b). Responses of potato (*Solanum tuberosum*) to potassium fertilizers crop. Journal of Agricultural Science, 136: 407-426.
- Alloway B.J. (2008). Micronutrient Deficiencies in Global Crop Production. Chapter 1: Micronutrient Deficiencies in Global Crop Production: An Introduction. Ed. Springer. 1-39.
- Anastassiades M., Lehotay S.J., Štajnbaher D., Schenck F.J. (2003). Fast and Easy Multiresidue Method Employing Acetonitrile Extraction/Partitioning and “Dispersive Solid-Phase Extraction” for the Determination of Pesticide Residues in Produce. Journal of AOAC International, 86(2): 412-431.
- Antelo Cortizas J. M., Arce Vázquez F. (1996). Características físico-químicas das augas superficiais. En: Díaz-Fierros, F. (ed.). As augas de Galicia. Consello da Cultura Galega, 351-346.
- Beals K.A. (2018). Potatoes, Nutrition and Health. American Journal of Potato Research. 96(103): 102-110.
- Benford D., Bolger P.M., Carthew P., Coulet M., Dinovi M., Leblanc J.C., Renwick A. G., Setzer W., Schlatter J., Smith B., Slob W., Williams G., Wildemann T. (2010). Application of the Margin of Exposure (MOE) approach to substances in food that are genotoxic and carcinogenic. Food and Chemical Toxicology, 48: S2-S24.
- Bhutto R.A., Bhutto N.H., Khanal S., Wang M., Iqbal S., Fan Y., Yi J. (2024). Potato protein as an emerging high-quality: Source, extraction, purification, properties (functional, nutritional, physicochemical, and processing), applications, and challenges using potato protein. Food Hydrocolloids, 157: 110415.
- Boone F.R., De Smet L.A.H., Van Loon C.D. (1985). The effect of a ploughpan in marine loam soils on potato growth. Physical properties and rooting patterns. Potato Research, 28: 295-314.
- Borruey A., Cotrina F., Mula J., Vega C. (2000). Calidad industrial y culinaria de las variedades de patata. In: Pascualena J., Ritter E. (Eds.). Libro de Actas del Congreso Iberoamericano de Investigación y Desarrollo en Patata. Patata 2000. 3- 6 Julio, Vitoria-Gasteiz, Spain.
- Buol S.W., Sánchez P.A., Cate R.B., Granger M.A. (1975). Soil fertility capability classification. In: Borne-misza, E., Alvarado, A. (Eds.), Soil Management in Tropical America. North Carolina State University, Raleigh, 126-141.

- Burton W.G. (1989). The potato. Longman Scientific and Technical. England. 742 pp.
- Carter M.R., Sanderson J.B., Macleod J.A. (2004). Influence of compost on the physical properties and organic matter fractions of a fine sandy loam throughout the cycle of a potato rotation. Canadian Journal of Soil Science 84: 211-218.
- Caldiz D.O., Gaspari F.J., Moreno Kiernan A., Struik P.C. (2002). Agro-ecological zoning at the regional level: spatio-temporal variation in potential yield of the potato crop in the Argentinian Patagonia. Agriculture. Ecosystems and Environment. 88: 3-10.
- Cámara Hurtado M., Conchello Moreno P., González Fandos M.E., Mañes Vinuesa J., Rodríguez Lázaro D., Ros Berruezo G., Talens Oliag P. (2017). Informe del Comité Científico de la Agencia Española de Consumo, Seguridad Alimentaria y Nutrición (AECOSAN) sobre los criterios de seguridad que limiten la exposición a acrilamida producida por la fritura de patatas. AECOSAN-2017-007: Documento aprobado por la Sección de Seguridad Alimentaria y Nutrición del Comité Científico en su sesión plenaria de 20 de septiembre de 2017. Revista del Comité Científico, nº26: 29-55.
- Comisión *Codex Alimentarius* (2009). Código de prácticas para reducir el contenido en acrilamida en los alimentos. CAC/RCP 67- 2009: 1-8.
- Diario Oficial de la Unión Europea (2021). Guía técnica sobre la aplicación del principio de “no causar un perjuicio significativo” en virtud del Reglamento relativo al Mecanismo de Recuperación y Resiliencia (2021/C 58/01).
- Domínguez Vivancos A. (1997). Tratado de fertilización. Tercera edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 613 pp.
- Dunovska L., Hajlova J., Hajkova, T., Holadova K., Hajkova K. (2004). Changes of acrylamide levels in food products during technological processing. Czech Journal Food Science, 22 Special Issue, 283-286.
- Edwards L., Burney J.R., Richter G., Macrae A.H. (2000). Evaluation of compost and straw mulching on soil-loss characteristics in erosion plots of potatoes in Prince Edward Island, Canada. Agriculture Ecosystems & Environment 81: 217-222.
- European Food Safety Authority (EFSA) (2015). Panel on contaminants in the food chain. Scientific opinion on acrylamide in food. EFSA Journal, 13 (6): 4104.
- European Food Safety Authority (EFSA): Benford D, Bignami M, Chipman JK, Ramos Bordajandi L. (2022). Assessment of the genotoxicity of acrylamide. EFSA Journal, 20(5): e07293.

- Elmore J.S., Briddon A., Dodson A.T., Muttucumaru N., Halford N.G., Mottram D.S. (2015). Acrylamide in potato crisps prepared from 20 UK-grown varieties: Effects of variety and tuber storage time. *Food Chemistry*, 182: 1-8.
- Fan M., Xu X., Lang W., Wang W., Wang X., Xin A., Zhou F., Ding Z., Ye X., Zhu B. (2023). Toxicity, formation, contamination, determination and mitigation of acrylamide in thermally processed plant-based foods and herbal medicines: A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 260, 115059.
- Food Drink Europe (2019). Acrylamide Toolbox. Disponible en: <https://www.fooddrinkeurope.eu/resource/acrylamide-toolbox/>
- García Calvo L., Álvarez Mociño O. (2003). A comarca da Limia. *Revista do Instituto do Campo* 4: 7-8.
- Genovese J., Tappi S., Luo W., Tylewicz U., Marzocchi S., Marziali S., Romani S., Ragni L., Rocculi P. (2019). Important factors to consider for acrylamide mitigation in potato crisps using pulsed electric fields. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 55: 8-26.
- Gokmen V., Palazoglu T.K. (2009). Measurement of evaporated acrylamide during frying of potatoes: Effect of frying conditions and Surface area to volumen ratio. *Journal of Food Engineering*, 93: 172-176.
- Gómez Nieto G. (1996). A Limia: Xeografía física, humana e económica. En: Rodríguez Iglesias F. (ed.). *Galicia. Xeografía*, Vol. XX, 22-63. Hércules de Ediciones. A Coruña. España.
- Grandy A.S., Porter G.A., Erich M.S. (2002). Organic amendment and rotation crop effects on the recovery of soil organic matter and aggregation in potato cropping systems. *Soil Science Society of America Journal*, 66: 1311-1319.
- Gutián F., Carballas T. (1976). *Técnicas de análisis de suelos*. Ed. Pico Sacro, Santiago de Compostela, 276 pp.
- Haase U.N., Matthaus B., Vosmann K. (2003). Acrylamide formation in foodstuffs: Minimising strategies for potato crisps. *Deutsche Lebensmittel- Rundschau*, 99(3): 87-90.
- Harrison H.C., Bergman E.L., Cole R.H. (1982). Growth responses, cooking quality determinations, and leaf nutrient concentrations of potatoes as related to exchangeable calcium, magnesium, and potassium in the soil. *American Potato Journal* 59: 113-124.
- Hawkes J.C. (1993). The historical and social role of the potato. *Proceedings of the 12th Triennial Conference of the EAPR*. Paris, France, 75-84.

- Herlihy M., Carrollm P. J. (1969). Effects of nitrogen, phosphorus, and potassium and their interactions on yield, tuber blight, and quality of potatoes. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 20: 513-517.
- Hijmans R.J., Spooner D.M. (2001). Geographic distribution of wild potato species. *American Journal of Botany* 88(11): 2101–2112.
- Instituto Galego de Estatística. Anuario de Estadística Agraria 2023.
<https://agacal.xunta.gal/es/estadistica-y-publicaciones/estadisticas>
- Jiménez Aguilar M. (1994). La evaluación de suelos para el cultivo de patata: respuesta a la fertilización y al riego. Tesis Doctoral. Departamento de Edafología y Química Agrícola. Facultad de Ciencias. Universidad de Granada.
- Kavvadias V., Paschalidis C., Akrivos G., Petropoulos D. (2012). Nitrogen and Potassium fertilization responses of potato (*Solanum tuberosum*). *CV. Spunta Communications in Soil Science and Plants Analysis*, 43: 176-189.
- Kita A. (2002). The influence of potato chemical composition on crisp texture. *Food Chemistry* 76: 173-179.
- Knutsen S.H., Dimitrijevic S., Molteberg E.L., Segtnan V.H., Kaaber L., Wicklund T. (2009). The influence of variety, agronomical factors and storage on the potential for acrylamide formation potatoes grown in Norway. *Food Science and Technology*, 42: 550-556.
- Kolbe H., Muller K., Olteanu G., Gorea T. (1995^a). Effects of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizer treatments on weight-loss and changes in chemical composition of potato-tubers stored at 4-degrees-C. *Potato Research*, 38: 97-107.
- Kolbe H., Meineke S., Zhang W.L. (1995^b). Differences in organic and mineral fertilization on potato-tuber yield and chemical-composition compared to model calculations. *Agribiological Research - Zeitschrift für Agrarbiologie Agrikulturchemie Ökologie*, 48: 63-73.
- Kumar P., Pandey S.K., Singh S.V., Rawal S., Kumar D. (2004). Effect of potassium fertilization on processing grade tuber yield and quality parameters in potato (*Solanum tuberosum*). *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 74: 177-179.
- Lema M.J. (1996). Evaluación de los suelos de la comarca de Bergantiños para el cultivo de la patata. Tesis doctoral. Departamento de Edafología y Química Agrícola. Facultad de Biología. Universidad de Santiago de Compostela.
- López-Mateo M.C. (2007). Efectos agronómicos y ambientales de la fertilización en el cultivo de patata en A Limia (Ourense). Tesis Doctoral. Universidad de Santiago de Compostela.

- Low M.Y., Koutsidis G., Parker J.K., Elmore J.S., Dodson A.T. Mottram D.S. (2006). Effect of citric acid and glycine addition on acrylamide and flavor in a potato model system. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54: 5976-5983.
- Marchettini N., Focardi S., Guarnieri M., Guerranti C., Perra G. (2013). Determination of acrylamide in local and comercial cultivar of potatoes from biological farm. *Food Chemistry*, 136: 1426-1428.
- Martínez Cortizas A., Pérez Alberti A. (1999). *Atlas Climático de Galicia*. Xunta de Galicia. Santiago de Compostela.
- Mestdagh E., Wilde T.D., Castelein P., Nemeth O., Van Peteghem C., Meulenaer B. (2008). Impact of the reducing sugars on the relationship between acrylamide and Maillard browning in french fries. *European Food Research and Technology*, 227: 69-76.
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA) (2005). Bacterias de cuarentena que afectan al cultivo de la patata. Disponible en: https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_Vrural/Vrural_2005_213_16_20.pdf
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA) (2019). Superficies y producciones de cultivo, año 2019.
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA) (2022). Caracterización del sector de la patata fresca de consumo. *Anuario de Estadística y Avances de Superficies y Producciones Anuales de Cultivos*.
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA) (2023). Análisis de campaña de la patata 2023.
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA) y Consellería do Medio Rural (2018). Pliego de Condiciones: Indicación Geográfica Protegida (IGP) "PATACA DE GALICIA" o "PATATA DE GALICIA".
- Moinuddin K.S., Bansal S.K., Pasricha N.S. (2004). Influence of graded levels of potassium fertilizer on growth, yield, and economic parameters of potato. *Journal of Plant Nutrition*, 27: 239-259.
- Olsen S.R., Sommers R.E. (1982). Phosphorus. En: Page *et al.* (Eds.). *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. 2nd ed. SSSA. Madison, Wisconsin, EEUU.

- Panique E., Kelling K.A., Schulte E.E., Hero D.E., Stevenson W.R., James R.V. (1997). Potassium rate and source effects on potato yield, quality, and disease interaction. *American Potato Journal* 74 (6): 379-398.
- Pauletti V., Menarim E. (2004). Época de aplicación, fontes e doses de potasio na cultura da batata. *Scientia Agraria* 5 (1-2): 15-20.
- Porta J., López-Acevedo M., Roquero C. (1994). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 807 pp.
- Raigond P., Sastry S. Jayanty, Vandana Parmar, Som Dutt, Sushil S. Changan, Satish Kumar Luthra, Brajesh Singh (2023). Health-Promoting compounds in Potatoes: Tuber exhibiting great potential for human health, *Food Chemistry*, Volume 424,136368.
- Reglamento (UE) 2017/2158 de la Comisión de 20 de noviembre de 2017 por el que se establecen medidas de mitigación y niveles de referencia para reducir la presencia de acrilamida en los alimentos. *Diario Oficial de la Unión Europea*, L 304/24.
- Reis R.A., Fontes P.C.R. (1996). Qualidade de tubérculos de batata em função de doses da adubação potássica. *Horticultura Brasileira*, Brasília 14 (2): 170-174.
- Rhue R.D., Hensel D.R., Kidder G. (1986). Effect of K fertilization on yield and leaf nutrient concentrations of potatoes grown on a sandy soil. *American Potato Journal* 63: 665-681.
- Rouselle P., Robert Y., Crosnier J.C. (1999). *La patata: producción, mejora, plagas y enfermedades, utilización*. INRA. (versión española de J.M. Mateo Box). Ed. Mundi-Prensa.
- Saidi, A., Hajibarat, Z. (2021). Approaches for developing molecular markers associated with virus resistances in potato (*Solanum tuberosum*). *Journal of Plant Diseases and Protection*, 128 (3): 649 -662.
- Singh B., Raigond P., Dutt S., Lal M.K., Jaiswal A., Changan S.S., Koundal B. (2023). Chapter: Nutrition in Potato and Its Food Products. In: Singh, B., Kalia, P. (eds) *Vegetables for Nutrition and Entrepreneurship*. Springer, Singapore. 179-201.
- Stark J.C., Porter G.A. (2005). Potato nutrient management in sustainable cropping systems. *American Journal of Potato Research*, 82: 329-338.
- Stevens R.G., Hammond M.W. (1992). What is needed and how do we maintain these resources. *American Potato Journal*, 69(11): 717-730.
- Torres M.D.A., Parreno W.C. (2009). Thermal processing and quality optimization. *Advances in potato chemistry and technology*.

Van Lierop W., Trans T.S., Bauville G. (1982). Effect of liming on potato yield as related to soil pH, Mn, Al, Ca. *Agronomy Journal*, 74: 1050-1054.

Van der Zaag, D.E. (1987). *La patata y su cultivo en los Países Bajos*. Ministerio de Agricultura y Pesca. La Haya. Holanda.

Westermann D.T., James D.W., Tindall T.A., Hurst R.L. (1994b). Nitrogen and potassium fertilization of potatoes: sugars and starch. *American Potato Journal*, 71: 433-453.

Yang Y., Achaerandio I., Pujolà M. (2016). Influence of the frying process and potato cultivar on acrylamide formation in french fries. *Food Control*, 62: 216-223.

Zaheer K., Akhtar M.H. (2016). Potato production, usage, and nutrition—a review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 56(5): 711-721.