



Facultad de Veterinaria
Universidad Zaragoza



Trabajo Fin de Grado en Ciencia y Tecnología de los alimentos

APTITUD PARA LA CONGELACIÓN DE DIFERENTES VARIEDADES DE
JUDÍA VERDE

SUITABILITY FOR FREEZING OF DIFFERENT VARIETIES OF GREEN
BEANS

Autor/es

Iván Sáinz Pérez

Director/es

María Eugenia Venturini
Crespo

Esther Arias Alvarez

Facultad de
Veterinaria

2021-2022

ÍNDICE

1. RESUMEN	1
2. INTRODUCCIÓN	3
2.1. ORIGEN	3
2.2. IMPORTANCIA ECONÓMICA Y DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA	3
2.3. TAXONOMÍA Y MORFOLOGÍA.....	3
2.4. REQUERIMIENTOS EDAFOCLIMÁTICOS.....	4
2.5. COMPOSICIÓN NUTRICIONAL.....	5
2.6. EL PROYECTO “ADAPTACIÓN DEL CULTIVO DE JUDÍA VERDE COMO ALTERNATIVA DE SEGUNDA COSECHA EN LA COMARCA DE LAS CINCO VILLAS”	6
3. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS	10
4. DESARROLLO EXPERIMENTAL	11
5. MATERIAL Y MÉTODOS	12
5.1. MATERIAL VEGETAL	12
5.2. MÉTODOS	12
5.2.1. PARÁMETROS FÍSICOS.....	12
5.2.2. PARÁMETROS QUÍMICOS.....	15
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	20
6.1. PARÁMETROS FÍSICOS.....	20
6.1.1. CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS: PESO, ANCHURA, LONGITUD Y CURVATURA DE LAS VAINAS	20
6.1.2. PRESENCIA DE ROCES.....	20
6.1.3. COLOR	21
6.1.4. TEXTURA.....	24
6.2. PARÁMETROS QUÍMICOS	25
6.2.1. CLOROFILA	25
6.2.2. VITAMINA C.....	27
6.2.3. FENOLES	28
6.2.4. PEROXIDASA.....	29
7. CONCLUSIONES.....	30
8. BIBLIOGRAFÍA.....	32

1. RESUMEN

La judía verde es uno de los alimentos típicos en la gastronomía española y que tiene gran importancia dentro de ésta. En los últimos años, la cantidad de judía verde cosechada en parcelas españolas y destinada a empresas del sector de la congelación ha disminuido, provocando una mayor importación de otros países como pueden ser Francia o Marruecos.

En este trabajo se ha realizado una comparación de la calidad en cosecha y la aptitud para la congelación de una judía verde de variedad local cultivada en la comarca de las Cinco Villas en comparación con una variedad francesa, que son las empleadas de forma habitual en la congelación. Para ello, se determinaron una serie de parámetros físicos (color y textura) y químicos (clorofila, vitamina C, fenoles, enzimas) y así, establecer la calidad antes de la ultracongelación y tras 6 meses de mantenimiento a -18 °C y 12 días a -15 °C simulando la comercialización. Estos parámetros también se determinaron tras el cocinado de las judías en olla abierta durante 7 min.

Las coordenadas de color CIElab fueron similares en la judía verde sin congelar y congelada para ambas variedades. Aunque los valores de la coordenada a^* son muy parecidos la variedad española tiene un valor de ésta más negativo, por lo tanto, un color verde mas claro. En cuanto a la textura, los valores obtenidos muestran que la variedad española presenta mayor firmeza que la variedad francesa y que tras la congelación ambas variedades presentan un mayor pico de fuerza.

La variedad francesa presenta una mayor concentración de clorofila que la variedad española, manteniendo este patrón tras su proceso de congelación. El tratamiento térmico provoca la pérdida de concentración de clorofila dando mayor porcentaje de pérdidas en la variedad francesa. La vitamina C fue mayor en la variedad francesa superando los 20 mg/100 g. La cocción provoca la pérdida de esta vitamina C hasta valores en torno a los 13 mg/100 g.

Los fenoles son especialmente susceptibles al tratamiento de congelación durante largos períodos por su degradación, ya que la concentración inicial (14-15 mg/100 g) se reduce a la mitad tras su conservación siendo su concentración en ambas variedades muy similar. La actividad enzimática se pierde completamente durante el proceso de congelación para ambas variedades.

ABSTRACT

The green bean is one of the typical foodstuffs in Spanish gastronomy and is of great importance within it. In recent years, the quantity of green beans harvested in Spanish plots and destined to companies in the freezing sector has decreased, causing a greater import from other countries such as France or Morocco.

In this work, a comparison has been made of the quality at harvest and the suitability for freezing of a local variety of green bean grown in the Cinco Villas region compared with a French variety, which are those normally used for freezing. To this end, a series of physical (colour and texture) and chemical (chlorophyll, vitamin C, phenols, enzymes) parameters were determined to establish the quality before deep-freezing and after 6 months at -18 °C and 12 days at -15 °C, simulating marketing. These parameters were also determined after cooking the beans in an open pot for 7 min.

The CIElab color coordinates were similar in unfrozen and frozen green beans for both varieties. Although the values of the a^* coordinate are very similar, the Spanish variety has a more negative a^* value, therefore, a lighter green color. Regarding texture, the values obtained show that the Spanish variety has a higher firmness than the French variety and that after freezing, both varieties have a higher peak of strength.

The French variety shows a higher concentration of chlorophyll than the Spanish variety, maintaining this pattern after freezing. The heat treatment causes the loss of chlorophyll concentration, giving a higher percentage of losses in the French variety. Vitamin C was higher in the French variety, exceeding 20 mg/100g. Cooking causes the loss of this vitamin C to values around 13 mg/100 g.

Phenols are particularly susceptible to freezing treatment for long periods due to their degradation, since the initial concentration (14-15 mg/100 g) is reduced by half after storage, the concentration being very similar in both varieties. The enzymatic activity is completely lost during the freezing process for both varieties.

2. INTRODUCCIÓN

2.1. ORIGEN

El origen de la judía verde (*Phaseolus vulgaris*) se remonta a tierras americanas debido a diversos hallazgos arqueológicos, evidencias botánicas e históricas datados del año 5000 a.C. Su entrada en España se debe a expediciones de comienzos del siglo XVI siendo uno de los primeros alimentos que encontraron los españoles durante la colonización. Aunque su consumo no se hizo popular hasta el siglo XIX hoy en día es una de las especies vegetales más importantes para la alimentación humana (Infoagro, 2022).

2.2. IMPORTANCIA ECONÓMICA Y DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA

La judía se trata de una hortaliza que tiene dos formas de presentación: de forma inmadura donde se aprovecha vaina y grano, y la segunda como legumbre dejando secar la vaina madura de la planta y sacando utilidad únicamente del grano. La superficie dedicada al cultivo de judía en grano se ha reducido en los últimos años al igual que la judía verde hortícola, aunque en este caso la disminución tiene menor importancia cuantitativamente.

El cultivo de judía verde ocupa una superficie total en España de unas 4.000 hectáreas, resaltando el cultivo de judía plana en La Rioja y el de redonda en el Duero, y la producción total de judía verde en el año 2019 ha sido de 141,9 miles de toneladas en España las cuales un 90% van destinadas a congelación y un 10% a conserva.

En concreto en Aragón la producción media de judía verde se encuentra entre los 9000 y 12000 kg/ha, mayoritariamente de plana, de las variedades Moncayo, Ebro, Aneto ocupando tan solo 246 hectáreas (al aire libre y regadío).

2.3. TAXONOMÍA Y MORFOLOGÍA

La judía verde es una planta anual, de vegetación rápida y ciclo corto perteneciente a la familia de las leguminosas (Fabaceas). Posee un sistema radicular muy ligero, de poca profundidad, constituido por una raíz principal y un gran número de raíces secundarias con elevado grado de ramificación. Su tallo es herbáceo y de porte erguido, llegando a medir hasta 50-70 centímetros en variedades enanas o de porte bajo y en judías de enrame o de porte trepador puede alcanzar una altura de 2-3 metros. La flor suele ser de color blanquecino, dependiendo de la variedad, y se presenta en racimos de 4 a 8 unidades que proliferan de forma ascendente en las diferentes axilas de las hojas en aquellas variedades de enrame, y de forma ascendente en variedades de porte mas bajo. En cuanto a la hoja, se trata de una hoja sencilla, lanceolada y acuminada donde el tamaño de esta variará dependiendo de la variedad. Su foliolo central suele tener forma

romboidal haciéndose mas grande en los laterales que presentan una forma mas ovalada. El fruto es una vaina de color, teniendo forma y dimensiones variables compuesto por 4 a 6 semillas. En el fruto se puede dar gran variedad de colores, aunque los que generan mayor aceptación por parte del consumidor son los verdes y amarillos con forma cilíndrica y acintada. Con el paso del tiempo las paredes de la vaina se vuelven mas fibrosas y pierden agua.

2.4. REQUERIMIENTOS EDAFOCLIMÁTICOS

Los climas templados favorecen el crecimiento óptimo de la judía verde con temperaturas entre los 18-30 °C durante su desarrollo vegetativo donde la planta va creciendo. Si la temperatura supera 30 °C se pueden dar deformaciones en la vaina no pudiendo comercializarla al igual que si se encuentra sembrada en un terreno con constantes heladas donde el fruto se quedará en forma de ganchillo. Este periodo de desarrollo también se ve favorecido por una humedad relativa de entre 60-65 % y aunque se trata de una planta muy adaptable al terreno de cultivo, ésta se desarrolla mejor en suelos ligeros, de textura silíceo-limosa, que tengan buen drenaje y ricos en materia orgánica. Este suelo debe estar bien nivelado para que no se produzcan encarcamientos ya que es una planta muy sensible a estos, al igual que a suelos de elevada salinidad. Además, anteriormente en esta parcela se debe no haber realizado tratamientos que sean perjudiciales para el cultivo y tener una rotación de cultivo adecuada. Sin embargo, este rango de temperaturas óptimo varía si la planta se encuentra en su etapa de floración. Dicha etapa se ve favorecida por temperaturas de entre los 15-25 °C y con humedad relativa algo mayor, llegando al 75 %. Las humedades relativas muy elevadas favorecen el desarrollo de enfermedades aéreas que dificultan la floración, por lo tanto, es importante que no se den oscilaciones.

Es una planta de día corto, donde la luminosidad durante el día condiciona la fotosíntesis soportando mayores temperaturas cuanto mayor es la luminosidad. Esta luminosidad debe ser acorde a la temperatura.

Se trata de una planta muy exigente para el riego en cuanto a frecuencia y volumen. Estas necesidades de riego se incrementan tras la floración siendo el agua el factor básico para la elongación de las vainas. Es imprescindible usar riego por aspersión para evitar que se den encarcamientos, aunque si se trata de cultivo enarenado se puede aplicar riego localizado para reducir dicho problema. La ausencia de agua, además de producir una disminución de la producción por aborto floral, puede desencadenar un escalonamiento de la germinación dificultando su corrección al tener un ciclo corto (tabla 1).

Tabla 1. Pautas de riego en función del estado de desarrollo de la judía verde

Estado de desarrollo	Periodo que dura tras la siembra	Tipo de riego
Nascencia	8-10 días	Si el suelo se encuentra seco, 2 riegos casi seguidos
Hasta floración	40 días	Mantener la humedad óptima del suelo y atemperado
Floración	A partir de 40 días	Dejar de regar 5-6 días para inducir estrés hídrico
Formación de las vainas	A partir del día 50	-Regar en mayor cantidad (7-8 litros/m ² /día) para recolectar en agosto -Regar en menor cantidad gastando 2-3 litros/m ² /día para recolectar en septiembre
Recolección	70-80 días	Dejar de regar 3 o mas días antes de esta recolección para permitir entrar a la maquinaria

Al tratarse de una hortaliza el suelo necesitará fertilizantes y al ser una planta leguminosa tiene la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico, por la asociación simbiótica con bacterias del género *Rhizobium* formada en las raíces, que puede ser utilizado para la alimentación de esta. Aunque la presencia de estas bacterias al ser de origen natural y depender en gran parte del historial de cultivo de la parcela y el ciclo no aseguran un aporte suficiente de nitrógeno en cosechas de ciclo corto, por ello, los aportes nitrogenados son básicos (40 unidades formadoras de Nitrógeno) para sacarle la mayor rentabilidad posible al cultivo y estos se deben aplicar a partir de la tercera hoja trifoliada. También se añaden como fertilizantes 60 kg por hectárea de potasio y 120 kg por hectárea de fósforo.

Como en todas las especies, alterar en exceso estos valores óptimos de desarrollo puede provocar problemas en crecimiento, floración y cuajado de los frutos y aumentará la probabilidad de que se desarrollen hongos patógenos y enfermedades.

2.5. COMPOSICIÓN NUTRICIONAL

La judía verde es una hortaliza de bajo aporte calórico conteniendo menos de 30 calorías por cada 100 g, esto es debido a la presencia de hidratos de carbono como el almidón concentrado en sus semillas y granos y a la presencia de una pequeña cantidad de proteínas. Son una buena fuente de fibra, aunque su contenido es menor que en otros vegetales. Entre sus minerales destacan el potasio, siendo este el mayoritario, calcio y fósforo ambos con similar concentración. Además, cabe destacar el yodo ya que una ración de judías verdes equivale al 42% de la ingesta recomendada al día. En la parte de las vitaminas resalta su alto contenido en

beta-carotenos (compuestos con actividad provitamínica A) y luteína (sin actividad provitamínica), vitamina B, vitamina C (contribuye a la protección de las células frente al daño oxidativo) y folatos que contribuyen a la formación normal de las células sanguíneas.

Tabla 2. Valor nutricional de la judía verde (por 100 g de porción comestible) (BEDCA)

Agua	90,5 g
Hidratos de carbono	4,1 g
Fibra	3,4 g
Energía	122 kJ
Proteínas	1,875 g
Lípidos	0,55 g
Vitamina A	31 ug
Vitamina B	0,135 mg
Vitamina C	10,4833 mg
Folatos	61,925 mg
Potasio	204 mg
Calcio	46,785 mg
Fósforo	33 mg
Magnesio	19,795 mg

2.6. EL PROYECTO “ADAPTACIÓN DEL CULTIVO DE JUDÍA VERDE COMO ALTERNATIVA DE SEGUNDA COSECHA EN LA COMARCA DE LAS CINCO VILLAS”

El proyecto “Adaptación del cultivo de judía verde como alternativa de segunda cosecha en la comarca de las Cinco Villas” fue aprobado en el año 2021 dentro de la convocatoria del Programa de Desarrollo Rural de Aragón 2014-2020.

El nombre de la comarca Cinco Villas hace referencia a cinco pueblos englobados en su interior como son Tauste, Ejea de los Caballeros, Sábada, Uncastillo y Sos del Rey Católico.

En el centro de las Cinco Villas se encuentra la empresa de braseados y ultracongelados SAAR (Sociedad Anónima Alimentaria Aragonesa), perteneciente al grupo SAMCA, presente en diferentes sectores ocupando una posición de liderazgo que siempre va destinada a velar por la innovación e investigación de producto y mercado en beneficio de sus clientes. SAAR es una empresa que procesa y comercializa gran cantidad de toneladas de ultracongelados y braseados de verdura, teniendo pleno control de su calidad y movimientos de trazabilidad desde su cultivo hasta su venta.

La Cooperativa Virgen de la Oliva es la encargada de coordinar el proyecto junto con SAAR ya que, tiene repartidas sus parcelas agrícolas de regadío por el municipio, ocupando la extensión de regadío de Ejea de los Caballeros. Es una de las cooperativas mas importantes en producción de cereales y forrajes destacando su apuesta por la innovación agraria y tecnologías. El maíz es el cultivo por excelencia de la cooperativa y el que mayor volumen alcanza, aunque la producción de oleaginosas esta en auge y con más de 20.000 toneladas al año de frutas y

hortalizas comercializadas. Su función dentro del proyecto será el cultivo de las leguminosas para realizar las etapas post-cosecha correspondientes.

Los correspondientes ensayos post-cosecha se llevan a cabo en el CITA y UNIZAR y ambos estarán destinados a la investigación y desarrollo.

El CITA (Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón) es una entidad destinada a impulsar la investigación científica, desarrollo y transferencia tecnológicos en todo lo relacionado con el sector agroalimentario. El Banco de Germoplasma Hortícola del CITA conserva las principales variedades locales de especies hortícolas, incluyendo las leguminosas, para garantizar que se conserva su diversidad y se promueve la utilización de estas.

La Universidad de Zaragoza, en concreto el Grupo de Investigación en Alimentos de Origen Vegetal, cubre un papel importante en la aplicación de tecnologías post-cosecha en la conservación y comercialización de frutas y hortalizas. Su principal objetivo es innovar, desarrollar tecnológicamente y conocer los productos para conseguir un incremento en la calidad y el valor del sector y poder distribuirlo por los diferentes sectores adheridos. Para su consecución una de sus tareas esta centrada en determinar la calidad de frutas y hortalizas y aumentar la vida útil de estas aplicando tecnologías post-cosecha. En este proyecto evaluará la calidad de las judías inmediatamente tras su cosecha y a intervalos regulares tras su ultracongelación.

La elaboración de este proyecto surge por la dependencia de la producción exterior de judía verde en España donde según datos recientes de la FAO se importaron unas 120.000 toneladas de judía verde y tan solo se exportaron 22.000, a pesar de tener una amplia red de hectáreas (7.540 hectáreas) destinadas a su producción. Esta importación provoca elevados gastos de dinero en España y que los valores de producción y superficie de la leguminosa vayan disminuyendo año tras año.

El problema se genera por la escasez de materia prima nacional en contraste con un aumento del consumo de vegetales congelados ya que, las toneladas de judía verde destinadas a la industria, de las cuales un 90% son para congelación, no son suficientes para proveer en suficientes cantidades a las industrias nacionales. Esto esta provocando la necesidad de las industrias a importar judía verde de territorios vecinos como Marruecos (elevado porcentaje) y territorios franceses del suroeste donde se cultivan alrededor de 4.000 hectáreas únicamente destinadas a España.

Aragón es una de las comunidades clave en la producción de verduras congeladas, pero la baja producción de éstas repercute de forma importante en las empresas destinadas a la transformación y comercialización por la insuficiencia de materia prima. Una de estas empresas es SAAR donde en sus parcelas agrícolas se cultiva mayoritariamente cereal, maíz y forrajes en

detrimento de otros productos hortícolas teniendo menor variedad de posibilidades que ofrecer a los consumidores. Esto provoca que SAAR tenga que importar judía verde de Francia, la cual puede perder calidad durante su transporte y además desencadena que la empresa pierda la trazabilidad del producto y requiera de otras empresas ajenas incrementando el gasto general. Por ello, basándose en una medida generada por la Unión Europea llamada el "pago verde", que consiste en la concesión de una ayuda complementaria anual a aquellos agricultores que practiquen actividades que protejan el medio ambiente, se planteo la opción de llevar a cabo una rotación de cultivos con algunos que sean fijadores de nitrógeno (leguminosas como las judías) para promover su producción mejorando el abastecimiento y reducir costes de importaciones. Esta rotación de cultivos es innovadora por el hecho de emplear judía verde como segundo cultivo tras el cereal de invierno o guisante, ya que normalmente se empleaba maíz, el cual acarreaba un mayor consumo de agua y nitrógeno en comparación a la judía verde cumpliendo con el objetivo de la medida de la UE de reducir el impacto tanto económico como ambiental. Este cambio se debe a que en la comarca de las Cinco Villas las siembras tardías de maíz se estaban convirtiendo en un cultivo residual y solo se cultivaba en determinadas parcelas. Los resultados obtenidos con leguminosas indicaron un incremento del rendimiento que sumado a un menor uso de fertilizantes supuso un aumento de los beneficios y el empleo de estas como segundo cultivo tras la cosecha.

A partir de la colección de distintas variedades de leguminosas presente en el banco de germoplasma hortícola donde tiene pleno conocimiento del potencial de las variedades locales de entre las 356 variedades de origen aragonés se seleccionaron aquellas que resistan las alteraciones que puede provocar el proceso de congelación como puede ser la pérdida de color, aroma y morfología de las vainas, si es posible variedades de judía plana (Moncayo, Ebro, Aneto) y redondeadas (Domino, Stanley es la judía tomada como referencia), Sintra y Cadillac) ya que, estas son mas resistentes a las rozaduras provocadas por el viento y en la comunidad de Aragón y esta comarca aragonesa es una zona donde las rachas pueden ser de elevada velocidad e intensidad dando lugar al secado de los bordes de las hojas y las vainas en épocas sensibles, por lo que es un factor muy importante a tener en cuenta. La empresa al tener que manejar otros cultivos y no tener completa disponibilidad de la maquinaria hasta finalizar el mes de septiembre opta por sembrar las variedades de judía verde en junio para poder recolectarlas en las primeras semanas de octubre.

Hoy en día una de las técnicas de conservación mas utilizadas es la congelación sobre todo en productos frescos. Esta congelación permite que los alimentos puedan llegar a la mesa del consumidor en las mismas condiciones y con la misma calidad que presentan en el momento de su recolección y por ello, es una tecnología aplicada en verduras frescas ya que, estas pierden

nutrientes conforme va pasando el tiempo desde su cosecha hasta su consumo (pueden darse pérdidas de en torno un 50%).

La ultracongelación es la clave del proceso, tras un lavado y escaldado para mantener su sabor y valor nutricional, porque gracias a su elevada velocidad permite conservar la calidad del producto. Esta ultracongelación impide que se desarrollen microorganismos, se pierdan nutrientes y aumentar la vida útil de los productos frescos como pueden ser las hortalizas por la congelación del agua que presentan en su interior. Este proceso también tiene puntos desfavorables porque si no se da una congelación rápida la estructura del alimento se puede dañar por la formación de cristales de gran tamaño provocando la deshidratación y, por tanto, la pérdida de agua, nutrientes y aromas durante la descongelación del producto.

Mediante este método de conservación se va a realizar una estimación de la vida útil acelerada de las judías verdes (españolas y francesas) congeladas mediante la evaluación de distintos parámetros físico-químicos y nutricionales para establecer el tiempo que estas variedades mantienen el grado de aptitud para consumo y que tengan aceptación por parte de los consumidores. Estos métodos de vida útil acelerada utilizan temperaturas de almacenamiento más altas que las de un congelado normal, para acelerar la tasa de deterioro de un producto sin que se vean alterados sus principales mecanismos que actúan durante su conservación a temperaturas normales. Las condiciones a las que será sometido el producto dependen de la naturaleza de este, otros factores como las condiciones climáticas durante la distribución, los procesos higienizantes, el envasado o sus condiciones de almacenamiento en condiciones normales (temperatura, humedad y luz) [Mercado-Flores et al.(2016)].

3. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

El cultivo de judía verde, supone una alternativa de cultivo hortícola industrial de segunda cosecha muy interesante en el Valle medio del Ebro. En concreto, en la comarca de las Cinco Villas, posee interés tras del cultivo de guisante, espinaca o cereal, y como alternativa al cultivo de maíz, en los regadíos de Tauste, Ejea de los Caballeros y Biota. Tradicionalmente la judía verde empleada en la industria de los congelados en esta zona procede de variedades francesas pero sería interesante testar la idoneidad del cultivo y del procesado para ultracongelación de variedades locales cultivadas en esta zona.

Para ello, se creó un grupo de trabajo constituido por la empresa Ultracongelados SAAR, la Cooperativa Virgen de la Oliva, el Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA) y la Universidad de Zaragoza (Grupo de Investigación en Alimentos de Origen Vegetales (GIAOVE) que fue financiado en la convocatoria “Programa de Desarrollo Rural para Aragón 2014-2020”.

Dentro de este proyecto el objetivo del GIAOVE, y por tanto también de este TFG, es determinar la **calidad en cosecha** y la **aptitud para la congelación** de variedades locales de judía verde cultivadas en la comarca de las Cinco Villas en comparación con las variedades francesas, utilizadas actualmente.

4. DESARROLLO EXPERIMENTAL

Las judías verdes frescas, una variedad cultivada en Ejea de los Caballeros y otra procedente de cultivos franceses, fueron analizadas antes de ser sometidas al proceso de ultracongelación. Tras realizarse ésta, en las instalaciones de la empresa Saar, fueron conservadas a -18 °C durante 6 meses. Pasado este tiempo se procedió a traspasar 5 kg de cada variedad de judía a -15 °C durante 12 días simulando así un proceso de comercialización dejando otros 5 kg a -18 °C. Previo a los análisis las judías se descongelaron a 4 °C.

También, y para evaluar el efecto del cocinado sobre las características físicas y químicas, la mitad de cada lote de cada variedad y temperatura fue sometida a cocción abierta durante 7 minutos.

Resumiendo, los lotes analizados de judía española y francesa analizados fueron:

- Fresca
- Ultracongelada tras 6 meses a -18 °C
- Ultracongelada tras 6 meses a -18 °C y 12 días a -15 °C
- Ultracongelada tras 6 meses a -18 °C y cocinada
- Ultracongelada tras 6 meses a -18 °C, 12 días a -15 °C y cocinada

Y los análisis realizados fueron:

- Análisis físicos
 - o Características morfológicas: peso, longitud, diámetro y curvatura de las vainas (solo en fresca)
 - o Apariencia visual y presencia de roces (solo en fresca)
 - o Color
 - o Textura
- Análisis químicos
 - o Clorofila
 - o Vitamina C
 - o Fenoles
 - o Actividad enzimática

5. MATERIAL Y MÉTODOS

5.1. MATERIAL VEGETAL

Las judías verdes españolas cv. Stanley provenían de cultivos que se encuentran en la comarca de las Cinco Villas las cuales han sido recolectadas por la empresa SAAR (Ejea de los Caballeros) y llevadas a ultracongelación para ser sometidas a los análisis pertinentes. La variedad Contender proviene de los cultivos franceses que importan estas legumbres a las empresas congeladoras españolas. Ambas variedades son tipo redonda y fueron recolectadas durante el mes de septiembre y sometidas al mismo tiempo a ultracongelación.

5.2. MÉTODOS

5.2.1. PARÁMETROS FÍSICOS

5.2.1.1. CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS: PESO, ANCHURA, LONGITUD Y CURVATURA DE LAS VAINAS

La evaluación de estos caracteres se realizó de acuerdo a la ficha morfológica del CITA diseñada para la evaluación de nuevas variedades (figura 1).

VAINA COMERCIAL (Judía Verde)						
						Número de Campo
						Fecha recolección
	Peso del fruto	Longitud fruto	Anchura fruto	Sección transversal	Curvatura vaina	Posición pico
18 planta						
1						
2						
3						
4						
5						
20 planta						
6						
7						
8						
9						
10						
39 planta						
48 planta						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
59 planta						
21						
22						
23						
24						
25						

Sección transversal

1. Muy plana 2. Forma pera 3. Elíptica redondeada 4. Forma de ocho

Curvatura vaina

Recta 2. Ligeramente curvada
3. Curvada 4. Forma de S

Posición del pico

1. Marginal 2. No marginal

Figura 1. Ficha morfológica para judía verde

La longitud y el diámetro transversal se midieron con un calibre digital. Todas las determinaciones se realizaron sobre 50 judías de cada variedad. Estas medidas se realizaron únicamente en las judías frescas.

5.2.1.2. PRESENCIA DE ROCES

Para caracterizar la presencia de roces se elaboró una escala tomando como muestra las variedades evaluadas. En ella, se establecieron 4 grados en función de la presencia e intensidad del roce: 1 (no presencia de roces), 2 (leve presencia de roces afectando a menos del 25 % de la superficie), 3 (presencia moderada con entre el 25-50 % de la superficie afectada y con roces de mayor profundidad y mayor coloración oscura) y 4 (más del 50 % de la superficie afectada con roces de mayor intensidad). En la figura 2 se puede apreciar la escala elaborada para las variedades francesas:



Figura 2. Escala de roces para las variedades francesas, de izquierda a derecha: 1 (no presencia de roces), 2 (leve presencia de roces afectando a menos del 25 % de la superficie), 3 (presencia moderada con entre el 25-50 % de la superficie afectada y con roces de mayor profundidad y mayor coloración oscura) y 4 (más del 50 % de la superficie afectada con roces de mayor intensidad).

En función de esta escala se determinó el porcentaje de vainas en cada lote en cada porcentaje de roce.

5.2.1.3. COLOR

La medida del color se realizó con un colorímetro Minolta Chroma Meter CR-400. Este colorímetro presenta un área de medición de 8 mm de diámetro, zona por donde el haz de luz de xenón incide sobre el producto del que se quiere medir sus coordenadas CIElab. Este instrumento es el adecuado para medir el color reflejado y la diferencia de color en una amplia gama de campos industriales. El alimento absorbe una cantidad de luz y el resto la refleja hacia

el área de medición, donde la luz se divide en tres caminos y atraviesa filtros especiales que van absorbiendo diferentes características de la luz, las cuales serán combinadas con las respuestas de las seis fotocélulas de silicio. Cuando la luz golpea contra el silicio se transforma en señales eléctricas que son enviadas a un microprocesador, convirtiendo este estímulo en unas coordenadas del espacio color (valores verde y azul).

El CIE lab de la Commision Internationale de l'Eclairage define estos espacios de color para comunicar y expresar el color objetivamente. Este espacio de color es muy usado porque correlaciona los valores numéricos de color con la percepción visual humana. Los colores se describen por lo tanto de la siguiente manera: tonos amarillos (b^* +) o matices azules (b^* -), tonos rojizos (a^* +) o tonos verdes (a^* -), claridad (L^* , luminosidad donde el valor 0 representa el blanco puro y el 100 el negro).

Para realizar la medida de color como se trata de muestras que no tienen la suficiente superficie para realizar las medidas pertinentes, se colocaron en cada placa de gran tamaño las diferentes variedades de judía y se tomaron tres medidas de diferentes puntos en la placa para obtener la media de las coordenadas y la desviación estándar (figura 3).

5.2.1.4. TEXTURA

La firmeza es otro parámetro físico que medir en la judía verde. La textura es el efecto combinado de las propiedades mecánicas y el comportamiento percibido en la boca a medida que se come la comida. La textura de los vegetales viene dada por la estructura de las células que los constituyen. Una de las características de este reino vegetal es que el plasmalema esta rodeado por la pared celular, compuesta de fibras de celulosa y hemicelulosa. Estas paredes le imparten un grado de rigidez y la presión de turgencia dentro de las células es el principal significado del mantenimiento de la forma del tejido. Por lo tanto, la celulosa es el principal factor que explica el comportamiento en la fractura de este material (Milford, 1976).

Los ensayos se realizaron con el texturómetro TA-XT2i (Stable Micro Systems, Goaldming, England) dotado con una célula de carga de 30 kg. Se realizaron ensayos de corte con la sonda A/BS cuchilla de corte según el método AIB. Esta sonda consiste en una lámina metálica de aproximadamente 1 mm de espesor que actúa como cuchilla. En el texturómetro se colocó la pesa de 5 kg para todas las muestras a analizar, la sonda se colocaba a una distancia de 188 mm y una velocidad de 2. La judía se coloca en la parte inferior y en medio de la base por donde tiene que pasar dicha sonda a la velocidad establecida midiendo la cantidad de fuerza necesaria para su corte en el momento de su primer contacto con la judía.

Para realizar estas medidas se tomaron 10 réplicas de cada variedad de judía verde a analizar y se obtendrá de cada una los valores de la media y desviación estándar del pico de fuerza que

coincide con el primer contacto de la sonda con la judía.

5.2.2. PARÁMETROS QUÍMICOS

5.2.2.1. CLOROFILA

La clorofila es una molécula tetrapirrólica que forma quelato con el magnesio, dándose diversas sustituciones. Las moléculas de clorofila están embebidas en las laminillas y estrechamente asociadas con lípidos, proteínas y lipoproteínas. Las mas interesantes en los alimentos son la clorofila A y B, la clorofila A se encuentra presente en la mayoría de los vegetales y es la encargada de absorber la luz durante la fotosíntesis mientras que la clorofila B se encuentra en los cloroplastos y se encarga de absorber luz de otra longitud y transferirle esta energía a la clorofila A. Por ello, se presentan en una proporción 3:1, teniendo aproximadamente el triple de clorofila A que de clorofila B. Esta clorofila a es la responsable de los colores verde-azulados y la clorofila B de los colores verdes-amarillentos. La clorofila es muy sensible a la luz, calor, oxígeno y degradación químicas que se puedan dar, por lo que, las manipulaciones con los extractos se deben realizar rápidamente para evitar que se produzca la pérdida de estas.

Para determinar la concentración de clorofila se sigue el método descrito por la AOAC (1990) "Carotens in fresh Plant Material and Silags". Para la extracción de la clorofila de las judías verdes se utiliza la acetona al 80% en agua como solvente ya que esta es capaz de romper el enlace entre la clorofila y las proteínas. Se pesan 3 g de judía verde por triplicado para cada variedad (española cocinada, española sin cocinar, francesa cocinada, francesa sin cocinar) y se le añaden 15 mL de acetona pura dentro de un tubo de falcon de 50 mL. Se añaden 0,1 g de CaCO₃, para tener un pH mas básico durante la extracción, y se añaden al tubo de falcon. La muestra se homogeneiza en Ultra-turrax para posteriormente filtrarla con filtros Whatman, ayudándonos de un kitasato aplicándole vacío para que la filtración se realizará de forma más rápida y reextractando el filtrado con alícuotas de acetona en este caso al 80%. Se transvasa a un matraz y se enrassa con acetona al 80 % hasta obtener un volumen final de 100 mL. Es muy importante este filtrado protegerlo de la luz para que la clorofila no sufra degradaciones.

La cuantificación de las clorofilas se realiza espectrofotométricamente basándose en la medida de la absorbancia en la región entre 600-700 nm donde si absorben las clorofilas, pero no los carotenoides. Por ello, se realizan lecturas de todas las muestras a 645 y 663 nm en el espectofotómetro (Unicam UV 500). Para calcular el contenido en cada clorofila de las muestras se utilizan estas ecuaciones:

- Clorofila total (mg clorofila/ 100 g) = 8,02 x Abs₆₆₃ + 20,21 x Abs₆₄₅
- Clorofila A (mg clorofila A/ 100 g) = 12,7A₆₆₃ - 2,69A₆₄₅
- Clorofila B (mg clorofila B/ 100 g) = 22,9A₆₄₅ - 4,68A₆₆₃

Posteriormente, habrá que hacer los cálculos necesarios para pasar a mg de clorofila por cada 100 g, ya que el resultado dado de la fórmula esta en mg/L tomados a partir de 100 mL y que se encuentran presente en 3 g.

5.2.2.2. VITAMINA C

Los vegetales se caracterizan por su alto contenido en vitaminas hidrosolubles, entre ellas la vitamina C, que actúa como antioxidante natural previniendo un gran número de enfermedades. El ácido ascórbico o vitamina C es una lactona provista de un grupo endiol. El ácido ascórbico es el nutriente menos estable durante el procesamiento porque es altamente sensible a la oxidación y lixiviación en agua. El análisis de esta vitamina C es de los más utilizados como indicador de la calidad nutricional, ya que esta es muy vulnerable a la oxidación química, enzimática y muy soluble en agua (Rickman et al, 2007).

Para la determinación del ácido ascórbico vamos a utilizar el método 967.21 de la AOAC, el cual es un método volumétrico. Se basa en el poder reductor del ácido ascórbico, este ascórbico se determina por valoración con el colorante 2,6- diclorofenolindofenol que es reducido por el ácido ascórbico a una forma incolora en un medio ácido. Pasará de un color azul a una forma sin color.

El primer paso es la preparación de la solución de 2,6- diclorofenolindofenol de 50 mg/ 100 mL la cual se debe conservar protegida de la luz.

Después prepararemos la solución madre de ácido ascórbico (2mg/ 100 mL) y a partir de esta solución madre preparamos las siguientes soluciones añadiendo ácido ascórbico, acético, para tener pH ácido, y enrasando a 100 mL con agua destilada (tabla 3).

Tabla 3. Soluciones de la curva patrón de vitamina C

	Concentración ácido ascórbico	mL de la solución madre	mL de la solución de acético (5%)	Agua destilada
Solución 1	2 mg/ 100 mL	100	25	-
Solución 2	1,5 mg/ 100 mL	75	25	-
Solución 3	1 mg/ 100 mL	50	25	25
Solución 4	0,5 mg/ 100 mL	25	25	50
Solución 5	0,25 mg/ 100 mL	12,5	25	62,5
Solución 6	0 mg/ 100 mL	0	25	50

Para la valoración se llena la bureta con el 2,6- diclorofenolindofenol y se coloca cada solución a titular en un Erlenmeyer e irá cayendo valorante hasta que la muestra adquiera un color rosa muy pálido persistente y se repite este proceso con cada solución. De esta forma obtendríamos la curva patrón (concentración de vitamina C frente a los mL de 2,6- diclorofenolindofenol

gastados) y podríamos extrapolar nuestros resultados obtenidos con las muestras a analizar y poder saber la concentración de vitamina C del producto.

Para la preparación de las muestras, en nuestro caso, licuamos la judía verde para obtener un zumo de esta y sin filtrar tomamos 10 mL. A este volumen le añadimos 50 mL de acético al 5% (pH ácido) y enrasaremos hasta 100 mL con agua destilada. Agitamos y valoramos con el 2,6-diclorofenolindofenol. Esta cantidad de mL gastados la sustituiremos posteriormente en la curva patrón obtenida quedándonos así la cantidad de vitamina C de cada variedad de judía verde en 10 mL. La concentración se expresa finalmente en mg de ácido ascórbico por cada 100 g de judía.

5.2.2.3. FENOLES

Los fenoles son unos compuestos orgánicos aromáticos que contienen el grupo hidroxilo como grupo funcional. También tienen funciones antioxidantes naturales.

Para su determinación primero debemos proceder a su extracción de la muestra de interés. Por lo tanto, pesamos aproximadamente 5 g de judía verde en unos tubos de falcon de 50 mL y le añadimos 10 mL de un solvente con etanol al 80%. Posteriormente, se homogeneiza en el ultraturrax (IKA T-18) durante 30 segundos y se lleva a centrifugación a 4000 rpm durante 15 min estando a 4°C. Una vez realizada la centrifugación se retira el sobrenadante del tubo y se mantiene en congelación hasta el momento de su análisis.

El procedimiento para determinar los compuestos fenólicos totales fue descrito por Singleton y Rossi (1965) y posteriormente, modificado por Singleton, Orthofer y Lamuela-Raventos (1999), se sigue este proceso:

1. 0,5 mL extracto o patrón en tubos de ensayo
2. 0,5 mL de reactivo de Folin-Ciocalteu: es un reactivo basado en la capacidad de los fenoles de reaccionar con agentes oxidantes. Contiene molibdato y tungstato sódico que reaccionan con cualquier tipo de fenol formando diversos compuestos. Se añade al volumen anterior y hay que agitar y esperar 5 minutos
3. 0,5 mL carbonato sódico NaCO_3 7,5% añadidos al volumen anterior: este sirve para dar un pH básico ideal para que reaccione el reactivo de Folin-Ciocalteu con los fenoles. Se prepara al 7,5% pesando 7,5 g en 100 mL
4. 7 mL de agua

Una vez añadidas todas las cantidades, se agitan los tubos para homogeneizar la mezcla y se colocan a la oscuridad durante una hora para que se produzca la reacción. El último paso es medir la absorbancia de la muestra a 760 nm para poder extrapolar este resultado en la curva patrón elaborada con ácido gálico (pesando 0,02765 g en 100 mL de etanol al 80%). Para la curva patrón se preparan las siguientes disoluciones en matraces de 10 mL (tabla 4).

Tabla 4. Soluciones para la preparación de la curva patrón para la determinación de compuestos fenólicos

Concentración (mg/L)	mL solución madre	mL etanol: agua (80:20)
0	0	10
50	2	8
100	4	6
150	6	4
200	8	2
250	10	0

El resultado será expresado en mg de fenoles de cada variedad de judía verde por cada 100 g de esta.

5.2.2.4. ENZIMAS

El último parámetro químico a determinar es la actividad enzimática de las diferentes variedades de judía verde y nos vamos a centrar principalmente en las peroxidases y lipooxigenasas responsables de los cambios de color que se observan durante el crecimiento, recogida, almacenamiento y procesado los vegetales. Se trata de un problema de primera magnitud en la industria agroalimentaria y es una de las principales causas de perdidas de calidad y valor comercial en los vegetales. Estas enzimas producen cambios importantes tanto en la apariencia como en las propiedades organolépticas, llegando a desprender olores y efectos negativos sobre el valor nutricional.

1) Para la determinación de la POX seguiremos este método:

Preparamos 1 L de tampón fosfato sódico 0,2 M (pH 7) conteniendo 10 g/L de polivinilpirrolidina (Galeazzi y Sgarbieri). Para tener este tampón en el pH deseado se prepararán dos disoluciones una de fosfato monosódico y otra de fosfato disódico, se tomará como disolución base aquella que tenga el pH mas cercano a 7 y con la otra se va ajustando hasta obtenerlo. Con este tampón realizaremos la extracción de la PPO y POX (Cano et al). Se añadirán 15 mL de tampón fosfato sódico a tubos de falcon que contiene 10 g de judía verde (por triplicado) y se homogeneizará en ultraturrax durante 3 minutos. Seguidamente se centrifuga a 4000 rpm /30 min a 4°C para evitar la pérdida de las enzimas y se filtrará el sobrenadante con filtros de Whatman. Esta parte del proceso es común para ambas enzimas.

- Actividad POX: preparamos 500 mL de tampón fosfato sódico 0,1 M (pH 6,5) con un 0,01% o-dianisidina, 0,005% H₂O₂ y 2% metanol, estos dos últimos nos sirven para disolver la dianisidina que es el sustrato de forma mas fácil.

Se inicia la reacción añadiendo 100 µlitros del extracto a 900 µlitros de la solución o-dianisidina

y se medirá el incremento de la absorbancia a 460 nm durante 5 minutos (Savagaon y Screenivasan). El resultado se expresará de igual forma que la PPO.

2) Para la determinación de la LOX nos basamos en el método de Gökmen y col. (2005). La actividad de la lipooxigenasa (LOX), se basa en la absorción a 234 nm de los dienos conjugados que se forman cuando el ácido linoleico, el cual emplearemos como sustrato, es oxidado por la enzima. El procedimiento es el siguiente:

1. Preparación del extracto enzimático crudo: se toman 10 g de la muestra y se le añaden 50 mL de agua MiliQ en un tubo de falcon. Este tubo se homogeneiza con ayuda del ultraturrax y se filtra con filtros de Whatman. El filtrado se lleva a centrifugación a 17700 rpm/ 20 min a 4°C y nos quedaremos con el sobrenadante.
2. Solución sustrato: se prepara añadiendo 157,2 µlitros de ácido linoleico, 157,2 µlitros de Tween-20 (emulsionante que nos ayudará a esparcir la solución preparada) + 10 mL de agua MiliQ. A esta solución anterior se le añade 1 mL de NaOH 1 M (sirve de clarificador) y se llevará a 200 mL con el tampón de fosfato de sodio 1/15 M pH 6. Este tampón se prepara con el fosfato monosódico y disódico tomando como base aquel que tenga el pH mas cercano a 6 y ajustándolo con el otro tampón.

Posteriormente, se miden 29 mL de la solución sustrato y se transfieren a un matraz volumétrico que se coloca en un baño de agua a 30°C.

3. Determinación de la actividad enzimática: a la solución sustrato mientras esta permanece en el baño a 30°C se le añadirá 1 mL del extracto enzimático y a intervalos de tiempo de 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 5.0 minutos se retira una alícuota de 1 mL del medio de reacción y se transfiere a tubos de vidrio que contienen 4 mL de una solución de NaOH 0,1 N. Esta solución 0,1 N detiene la reacción enzimática y asegura tener claridad óptica, al formarse una sal de sodio del ácido linoleico sin reaccionar, antes de realizar la lectura con el espectrofotómetro. El blanco de reacción se prepara con 1 mL de sustrato y 4 mL de NaOH 0,1 N.

La formación de hidroperóxidos se analiza espectrofotométricamente a 234 nm debido a la formación de una cadena hidroperoxideno conjugada.

Al no obtener resultado con este método de Gökmen y col. (2005), realizamos también el método descrito por Morales-Blancas y col. (2002) y Szymanowska, Jakubczyk, Baraniak y Kur (2009) en el cual en este caso el sustrato se prepara mezclando 78,6 µlitros de ácido linoleico de la marca Sigma, 78,6 µlitros de Tween-20 y 20 mL de agua destilada. La solución se clarifica agregando 1 mL de NaOH 1 M y es llevada a un volumen final de 100 mL con el tampón fosfato 0,2M pH 6.5. Las siguientes fases del método son iguales que el descrito anteriormente.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se presentan en este punto los resultados obtenidos de los análisis físico-químicos realizados en las variedades de judía verde española y francesa. Los resultados se encuentran divididos en parámetros físicos (apariencia, calibre y longitud, color y textura) y químicos (clorofila, vitamina C, fenoles y enzimas) con la media y desviación estándar de cada método tratamiento realizado a los lotes.

6.1. PARÁMETROS FÍSICOS

6.1.1. CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS: PESO, ANCHURA, LONGITUD Y CURVATURA DE LAS VAINAS

Las dos variedades evaluadas fueron de forma elíptica redondeada con pico no marginal. Los caracteres morfológicos medios se presentan en la tabla 5.

Tabla 5. Características morfológicas de las variedades de judía verde fresca

Variedad	Peso (g)	Longitud (mm)	Diámetro transversal (mm)	Curvatura vaina
Española	5,24 ± 1,40	111,93 ± 10,81	8,39 ± 0,70	4,7 ± 1,4
Francesa	5,11 ± 1,02	102,51 ± 22,15	7,60 ± 0,83	4,1 ± 1,5

Ambas variedades coinciden en peso, longitud, diámetro transversal y curvatura de la vaina. Sin embargo, la media de todos estos valores siempre es ligeramente superior en la variedad española.

6.1.2. PRESENCIA DE ROCES

En función de la escala mostrada en la figura 2 se determinó el porcentaje de vainas en cada lote en cada porcentaje de roce. Los resultados (tabla 6) muestran que se detectó una mayor presencia de roces y con mayor intensidad en la variedad francesa.

Tabla 6. Presencia de roces en las variedades de judía verde frescas

Variedad	Intensidad de roces (% de vainas)			
	Grado 1	Grado 2	Grado 3	Grado 4
Española	48,5	40,6	10,9	0
Francesa	29,5	54,5	10,2	5,8

En la figura 3 se presenta un detalle de algunas de las vainas donde se puede apreciar el distinto aspecto general y la presencia de roces.



Figura 3. Aspecto general de la judía verde española (derecha) y francesa (izquierda)

6.1.3. COLOR

Los parámetros de color de las judías verdes se muestran en la tabla 7. En el análisis de la apariencia visual observamos que la coloración de la variedad española tiene un tono verde más claro que la variedad francesa como se puede apreciar en la figura 4. Aunque los valores de las coordenadas L y a^* sean muy similares para ambas variedades si se muestra mayor valor de la coordenada a^* de la judía verde española en comparación con la francesa al igual que la Luminosidad (L^*) donde los valores son similares pero la variedad francesa tiene menor luminosidad por su tono más verde oscuro.

Tabla 7. Parámetros CIElab obtenidos en las judías verdes

Variedad	Tiempo de almacenamiento	Tratamiento	L*	a*	b*
Española	Tras cosecha	Sin congelar	42,50 ± 6,80	-14,76 ± 1,25	29,13 ± 2,94
Francesa	Tras cosecha	Sin congelar	38,96 ± 7,85	-14,51 ± 2,03	28,80 ± 3,54
Española	6 meses	-18°C sin cocinar	42,22 ± 2,97	-18,64 ± 1,27	29,18 ± 2,47
Española	6 meses	-18°C cocinada	39,15 ± 2,69	-11,44 ± 0,91	25,76 ± 1,25
Francesa	6 meses	-18°C sin cocinar	38,11 ± 8,10	-13,39 ± 3,24	23,22 ± 6,20
Francesa	6 meses	-18°C cocinada	38,96 ± 4,85	-9,54 ± 1,02	22,09 ± 1,47
Española	6 meses + 12 días	-18°C sin cocinar	46,80 ± 4,48	-18,32 ± 1,60	27,95 ± 2,80
Española	6 meses + 12 días	-18°C cocinada	49,15 ± 6,13	-13,83 ± 0,86	27,78 ± 2,66
Francesa	6 meses + 12 días	-18°C sin cocinar	40,41 ± 5,51	-12,26 ± 1,83	21,03 ± 3,51
Francesa	6 meses + 12 días	-18°C cocinada	40,16 ± 6,92	-9,57 ± 2,25	22,23 ± 7,42
Española	12 días	-15°C sin cocinar	47,22 ± 8,76	-17,15 ± 1,65	29,45 ± 4,71
Española	12 días	-15°C cocinada	36,64 ± 4,90	-10,46 ± 0,72	22,49 ± 3,40
Francesa	12 días	-15°C sin cocinar	35,90 ± 1,47	-15,00 ± 0,60	23,25 ± 1,36
Francesa	12 días	-15°C cocinada	42,08 ± 2,07	-10,08 ± 0,99	25,56 ± 4,22



Figura 4. Izquierda (judía verde francesa descongelada) y derecha (judía verde española descongelada)

A cada variedad de judía verde tras su proceso de congelación y descongelación se le sometió a una etapa de cocción durante 7 minutos para evaluar la variación de sus características organolépticas. Este parámetro físico como el color esta relacionado a su vez con un parámetro químico como la clorofila, ya que esta etapa de cocción provoca que la clorofila de los alimentos vegetales pierda magnesio transformándose en feofitinas con una coloración mas pardo olivácea. Este efecto lo podemos observar claramente en los valores obtenidos de la coordenada

a* donde tras la cocción los valores de todas las variedades han disminuido respecto a la judía verde sin cocinar, lo que quiere decir, que estas presentaban un color verde menos intenso como se puede observar en las figuras 5 y 6. En cuanto a los valores de la coordenada L* no se observa gran diferencia entre las judías sin cocinar y cocinadas, pero esta disminuye en algunos casos por la pérdida de este color mas brillante y atractivo que presenta la judía sin la cocción, lo cual podemos observar en las figuras 5 y 6. Sin embargo, la coordenada b* responsable de tonos amarillos en este caso por su valor positivo no se ve modificada y presenta unos valores similares en todas las variedades y tratamientos realizados. En todos los casos su valoración positiva nos desvela que las variedades de judía presentan unos matices mas cercana a tonos amarillos que a matices azules, donde su valor sería de b*-.



Figura 5. Izquierda (judía verde española cocinada) y derecha (judía verde española sin cocinar)



Figura 6. Izquierda (judía verde francesa cocinada) y derecha (judía verde francesa sin cocinar)

Tampoco se observa gran diferencia en el color entre las variedades ultracongeladas a -18°C y a -15°C, ya que los valores de sus coordenadas son muy semejantes (figuras 7 y 8). Aún así en ambas variedades y temperaturas de congelación la judía verde española descongelada presenta un color verde mas intenso en comparación con la variedad francesa (figura 9).



Figura 7. Izquierda (judía verde española a -18°C) y derecha (judía verde española a -15°C) tras descongelación



Figura 8. Izquierda (judía verde francesa a -18°C) y derecha (judía verde francesa a -15°C) tras descongelación



Figura 9. Izquierda (judía verde española) y derecha (judía verde francesa)

6.1.4. TEXTURA

Otro parámetro físico para evaluar la aptitud de la variedad española frente a la variedad francesa es la textura. Evaluamos la firmeza que presentan ambas variedades al corte, sacando la media y desviación estándar de la fuerza necesaria en kg para partir la vaina de judía. Se han tomado 10 replicas de cada variedad y tratamiento para sacar la media y desviación estándar de los resultados obtenidos, representada en la tabla 8 con cada tratamiento y temperatura realizados a las judías.

Tabla 8. Pico de fuerza (kg) en las diferentes variedades de judía verde y tratamientos

Variedad	Tiempo almacenamiento	Tratamiento	Pico de fuerza (kg)
Española	Tras cosecha	Sin congelar	1,44 ± 3,92
Francesa	Tras cosecha	Sin congelar	1,16 ± 0,62
Española	6 meses	-18°C sin cocinar	2,82 ± 0,52
Española	6 meses	-18°C cocinada	0,89 ± 0,24
Francesa	6 meses	-18°C sin cocinar	1,78 ± 0,41
Francesa	6 meses	-18°C cocinada	0,64 ± 0,11
Española	6 meses + 12 días	-18°C sin cocinar	2,90 ± 0,74
Española	6 meses + 12 días	-18°C cocinada	0,79 ± 0,35
Francesa	6 meses + 12 días	-18°C sin cocinar	1,84 ± 0,47
Francesa	6 meses + 12 días	-18°C cocinada	0,54 ± 0,21
Española	12 días	-15°C sin cocinar	2,68 ± 0,63
Española	12 días	-15°C cocinada	0,73 ± 0,56
Francesa	12 días	-15°C sin cocinar	1,54 ± 0,45
Francesa	12 días	-15°C cocinada	0,54 ± 0,34

Como observamos en los valores de la tabla 8 la variedad española presenta una mayor dureza, llegando a necesitar 1 kg de fuerza más para ser rota que la variedad francesa sea cual sea la temperatura de conservación de las variedades.

El procesado térmico de las verduras hace que se rompa la estructura de sus células, reblaneciéndo a esta por diversas causas como puede ser la pérdida de la turgencia, el aire vascular y extracelular, al igual que la desnaturalización y degradación de los componentes de la membrana celular y otros polisacáridos. Por ello, las variedades que han sido sometidas al proceso de cocción presentan una pérdida de la firmeza respecto de las variedades crudas. La variedad española sigue presentando valores de pico de fuerza mayores respecto de la francesa por su firmeza inicial mayor (Milford, 1976). Esta diferencia entre las vainas sometidas a escaldado y las no sometidas fue demostrada por Brown (1967), donde comprobó que el escaldado causaba el ablandamiento de las vainas.

También observamos en ambas variedades tanto la francesa como la española que la fuerza necesaria para cortar una judía a -15°C es menor que la necesaria para cortar una judía que ha sido conservada a -18°C, aunque la pérdida de firmeza de estas sea muy poca comparada con la pérdida producida tras el proceso de cocción.

6.2. PARÁMETROS QUÍMICOS

6.2.1. CLOROFILA

La clorofila es el primer parámetro químico determinado y como he nombrado anteriormente

se encuentra relacionado con el color de las judías. Los valores obtenidos con su media y desviación estándar de cada tipo de clorofila junto con la clorofila total se encuentran en la tabla 9.

Tabla 9. Clorofila total y clorofilas a y b (mg/100 g) en las diferentes variedades de judía verde y sus tratamientos

Variedad	Tiempo almacenamiento	Tratamiento	mg clorofila a/ 100 g	mg clorofila b/ 100 g	mg clorofila total/ 100 g
Española	Tras cosecha	Sin congelar	3,51 ± 0,05	1,59 ± 0,27	5,10 ± 0,24
Francesa	Tras cosecha	Sin congelar	4,67 ± 0,15	2,22 ± 0,05	6,85 ± 0,15
Española	6 meses	-18°C sin cocinar	3,94 ± 0,34	1,02 ± 0,42	4,96 ± 0,75
Española	6 meses	-18°C cocinada	4,10 ± 0,94	1,06 ± 0,26	5,16 ± 1,20
Francesa	6 meses	-18°C sin cocinar	5,16 ± 0,78	1,12 ± 0,33	6,28 ± 1,10
Francesa	6 meses	-18°C cocinada	3,60 ± 0,71	0,73 ± 0,38	4,33 ± 1,09
Española	6 meses + 12 días	-18°C sin cocinar	4,17 ± 0,21	0,28 ± 0,52	4,45 ± 0,46
Española	6 meses + 12 días	-18°C cocinada	3,45 ± 0,29	0,29 ± 0,80	3,74 ± 0,53
Francesa	6 meses + 12 días	-18°C sin cocinar	5,13 ± 0,19	0,96 ± 0,24	6,08 ± 0,15
Francesa	6 meses + 12 días	-18°C cocinada	4,62 ± 0,14	0,68 ± 0,04	5,30 ± 0,17
Española	12 días	-15°C sin cocinar	6,06 ± 0,74	2,42 ± 0,35	8,48 ± 0,77
Española	12 días	-15°C cocinada	4,87 ± 0,41	1,32 ± 0,36	6,19 ± 0,15
Francesa	12 días	-15°C sin cocinar	5,20 ± 0,22	1,49 ± 0,18	6,69 ± 0,39
Francesa	12 días	-15°C cocinada	4,28 ± 0,60	1,05 ± 0,35	5,33 ± 0,51

Primeramente, la cantidad de clorofila fue mayor en la variedad francesa en comparación con la variedad española llegando a tener 2 mg más de clorofila por cada 100 g de judía. También observamos la proporción entre la clorofila a y la clorofila b, donde la concentración presente de clorofila a en todas las variedades es aproximadamente el triple que la concentración presente de clorofila b.

Observamos como disminuyó la concentración de clorofila al someter a las judías a un proceso de cocción. Esto se debe a que el calentamiento hace que la clorofila pierda el magnesio de su

estructura, transformándose en feofitinas y cambiando su color a un verde pardo (Muftugil, 1985). La degradación dada por la cocción afecta en mayor medida a la variedad francesa, esto se puede deber por su mayor concentración de clorofila a la cual es mas vulnerable frente a la degradación que la clorofila b.

En cuanto a la diferencia de la temperatura de conservación, se obtienen valores mayores en las judías conservadas a -15°C, pero esto se puede deber a que se trajeron diferentes lotes de las variedades ya que la temperatura no es un factor que afecte de forma directa a la concentración de clorofila total.

6.2.2. VITAMINA C

Se determinó el ácido ascórbico como indicador de la pérdida nutricional que se puede dar en las judías durante su transporte, procesado y tratamiento de cocción. Los resultados de la concentración de vitamina C obtenidos con su media y desviación estándar expresada por cada 100 g de judía verde se muestran en la tabla 10.

Tabla 10. Vitamina C (mg/100 g) de las diferentes variedades de judía verde y tratamientos

Variedad	Tiempo de almacenamiento	Tratamiento	mg/100 g
Española	Tras cosecha	Sin congelar	17,43 ± 1,16
Francesa	Tras cosecha	Sin congelar	23,21 ± 0,67
Española	6 meses	-18°C sin cocinar	16,84 ± 0,69
Española	6 meses	-18°C cocinada	11,31
Francesa	6 meses	-18°C sin cocinar	18,64 ± 0,67
Francesa	6 meses	-18°C cocinada	13,55
Española	6 meses + 12 días	-18°C sin cocinar	17,17 ± 0,69
Española	6 meses + 12 días	-18°C cocinada	12,64 ± 0,69
Francesa	6 meses + 12 días	-18°C sin cocinar	22,90 ± 0,91
Francesa	6 meses + 12 días	-18°C cocinada	14,90 ± 1,14
Española	12 días	-15°C sin cocinar	18,82 ± 1,36
Española	12 días	-15°C cocinada	12,79 ± 1,14

Francesa	12 días	-15°C sin cocinar	21,84 ± 0,52
Francesa	12 días	-15°C cocinada	14,75 ± 0,45

Las variedades de judía verde crudas se encuentran en un rango de vitamina C de entre 10 y 23 g por cada 100 g de judía. La cantidad inicial de ácido ascórbico como podemos observar es diferente en cada lote de la variedad, por ejemplo, en la variedad española el lote conservado a -15°C presenta una cantidad de vitamina C mayor que el lote conservado a -18°C al igual que ocurre con la variedad francesa. Esto se puede deber al tiempo que haya pasado desde su recolección hasta su procesado y de las condiciones en las que han sido cultivadas. En la judía verde también se pueden dar pérdidas de la vitamina C durante el proceso de congelación y descongelación relacionadas con la pérdida de agua que se produce en estas, ya que, la vitamina C es muy soluble. En otros estudios realizados las pérdidas dadas de vitamina C durante la congelación eran mayores que las nuestras (17%, 28% en peso húmedo) y en nuestro periodo de conservación las pérdidas no han sido tan notorias (Rickman et al, 2007).

Comparando entre ambas variedades la variedad francesa es la que presenta mayor contenido en vitamina C y, por tanto, mayor capacidad antioxidante natural llegando a tener mas de 20 mg de vitamina C por cada 100 g de judía verde.

Todas las judías verdes que han sido tratadas con una cocción disminuyen su contenido en vitamina C respecto a la concentración que estas presentan en su estado crudo. Esto se debe a que con esta cocción se aceleran reacciones de degradación de nutrientes y el alimento pierde agua, lavando los nutrientes solubles. La cantidad de esta pérdida de vitamina C dependerá de la temperatura de cocción y el tiempo de tratamiento al que se sometan (Muftugil, 1985) (Rickman et al, 2007) (Peñas, 2007).

6.2.3. FENOLES

Se determinaron también los fenoles totales de las diferentes variedades de judía verde. Estos fenoles poseen también capacidad antioxidante y se expresan en mg fenoles totales por cada 100 g de judía verde (tabla 11).

Tabla 11. Fenoles totales (mg/100 g) de las diferentes variedades de judía verde y tratamientos

Variedad	Tiempo de almacenamiento	Tratamiento	mg /100 g
Española	Tras cosecha	Sin congelar	14,10 ± 0,95
Francesa	Tras cosecha	Sin congelar	15,89 ± 0,61
Española	6 meses	-18°C sin cocinar	6,33 ± 1,38
Española	6 meses	-18°C cocinada	5,15 ± 0,73

Francesa	6 meses	-18°C sin cocinar	$4,97 \pm 0,31$
Francesa	6 meses	-18°C cocinada	$5,73 \pm 0,92$
Española	6 meses + 12 días	-18°C sin cocinar	$7,04 \pm 2,10$
Española	6 meses + 12 días	-18°C cocinada	$8,91 \pm 0,93$
Francesa	6 meses + 12 días	-18°C sin cocinar	$6,52 \pm 1,89$
Francesa	6 meses + 12 días	-18°C cocinada	$6,38 \pm 0,26$
Española	12 días	-15°C sin cocinar	$7,49 \pm 0,10$
Española	12 días	-15°C cocinada	$6,40 \pm 1,00$
Francesa	12 días	-15°C sin cocinar	$12,18 \pm 1,47$
Francesa	12 días	-15°C cocinada	$7,20 \pm 2,84$

El rango de concentración de los fenoles varía de entre 4 y 12 g por cada 100 g de judía verde. Esta degradación que se ha producido de la composición fenólica se puede deber a actividades químicas desarrolladas durante el almacenamiento, el oxígeno disponible y la exposición a la luz ya que los fenoles son sensibles a dichos parámetros (Rickman et al, 2007). Comparando ambas variedades de judía, la variedad española presenta una mayor concentración de fenoles totales respecto a la variedad francesa salvo en la judía verde francesa conservada a -15°C donde su concentración de fenoles. Esto puede deberse a que se trata de un lote diferente de judía verde conservada y sus condiciones de cultivo y recolección han provocado que la concentración de fenoles sea mayor.

En la mayoría de las variedades sometidas a cocción se ha producido degradación de los fenoles causada por las altas temperaturas y que provoca la perdida de la estabilidad de la estructura de estos haciéndolos solubles.

6.2.4. PEROXIDASA

Optimizar el procesado industrial para la obtención de vegetales pre-cocidos congelados es un reto en la industria, debido a que existen una serie de reacciones enzimáticas que deterioran el producto final. Como es bien sabido, el enzima peroxidasa (POX) presenta una alta estabilidad térmica, y por ello se la emplea frecuentemente como parámetro indicador del proceso de inactivación enzimática durante la etapa previa de escaldado Williams y col., (1986). De hecho, el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, utiliza la POD para monitorizar los procesos de inactivación y así minimizar los cambios de calidad en el almacenamiento de los vegetales. A la POX se le atribuyen cambios indeseables en el color ya que produce compuestos de color pardo. Con el objetivo de comprobar la correcta inactivación del enzima y cuantificar el posible % de actividad residual (deberá de ser inferior a un 10%), se determinó la actividad POX de ambas variedades de judía, tanto en estado fresco como congelado. En ambos casos no se detectó ningún tipo de actividad enzimática en el producto congelado, sin observarse una

influencia significativa de la variedad en las ua/g de producto. En la tabla 12 se incluyen los resultados obtenidos en el análisis de la actividad POX en los diferentes puntos de análisis.

Tabla 12. Actividad POX (ua/ g producto) de las diferentes variedades de judía verde y tratamientos

Variedad	Tiempo de almacenamiento	Tratamiento	ua/ g producto
Española	Tras cosecha	Sin congelar	$221,85 \pm 5,72$
Francesa	Tras cosecha	Sin congelar	$199,35 \pm 42,63$
Española	6 meses	-18°C sin cocinar	$0,00 \pm 0,00$
Francesa	6 meses	-18°C sin cocinar	$0,00 \pm 0,00$
Española	6 meses + 12 días	-18°C sin cocinar	$0,00 \pm 0,00$
Francesa	6 meses + 12 días	-18°C sin cocinar	$0,00 \pm 0,00$
Española	12 días	-15°C sin cocinar	$0,00 \pm 0,00$
Francesa	12 días	-15°C sin cocinar	$0,00 \pm 0,00$

7. CONCLUSIONES

- En el momento de la cosecha la variedad española de judía verde presenta menores daños por roces lo que garantiza un mejor aspecto tras el proceso de ultracongelación.
- En cuanto a la apariencia visual esta variedad presenta colores verdes mas brillantes y mas claro que la variedad francesa, lo que ocasiona un mayor grado de aceptación en el consumidor.
- La dureza de la variedad española tras la ultracongelación es mayor, valor que se mantiene tras el cocinado. Esta mayor resistencia a la rotura de la variedad española hace que sea una judía verde más apta para las empresas congeladoras.
- La clorofila no sufre degradación durante el almacenamiento en congelación durante 6 meses. En general, la variedad francesa presenta mayor concentración de clorofila que la variedad española, lo que puede estar relacionado con la coloración mas oscura de ésta tras el proceso de descongelación.
- La concentración de vitamina C se mantiene estable en la mayoría de los lotes tras el almacenamiento en congelación. Entre ambas variedades la vitamina C es mayor en la variedad francesa con cerca de 20 mg de vitamina C/100 g.
- El análisis de los fenoles ha demostrado que son un parámetro muy sensible a la conservación en congelación, ya que su concentración se reduce sensiblemente.
- El escaldado previo a la congelación ha provocado la ausencia de actividad enzimática peroxidasa. Tampoco se detecta actividad polifenoloxidasa o lipooxigenasa en ninguna de las muestras.

A pesar de que las diferencias entre la variedad francesa y española son mínimas podemos decir que la calidad en fresco de esta última es superior ya que presenta menos roces y una mejor apariencia visual. La mayor dureza de la variedad española también garantiza el mantenimiento de su textura tras el almacenamiento en congelación e incluso tras el cocinado.

CONCLUSIONS

- At the time of harvesting, the Spanish variety of green beans shows less damage due to rubbing, which guarantees a better appearance after the deep-freezing process.
- In terms of visual appearance, this variety has brighter and lighter green colours than the French variety, which leads to a higher degree of consumer acceptance.
- The hardness of the Spanish variety after deep-freezing is higher, a value that is maintained after cooking. This higher resistance to breakage of the Spanish variety makes it a more suitable green bean for freezing companies.
- The chlorophyll does not undergo degradation during 6 months of frozen storage. In general, the French variety has a higher concentration of chlorophyll than the Spanish variety, which may be related to the darker colouring of the latter after the thawing process.
- The concentration of vitamin C remains stable in most of the lots after frozen storage. Between the two varieties, the vitamin C is higher in the French variety with about 20 mg vitamin C/100 g.
- The analysis of phenols has shown that they are a very sensitive parameter to frozen storage, as their concentration is significantly reduced.
- Blanching prior to freezing resulted in the absence of peroxidase enzyme activity. Neither polyphenol oxidase or lipoxygenase activity was detected in any of the samples.

Although the differences between the French and Spanish varieties are minimal, we can say that the fresh quality of the latter is superior as it has less friction and a better visual appearance. The greater firmness of the Spanish variety also guarantees the maintenance of its texture after frozen storage and even after cooking.

8. BIBLIOGRAFÍA

- "AOAC (1990) ``Carotens in fresh Plant Material and Silags'' "[Consultado: 18/06/, 2022].
- Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. [Consultado: 18/06/, 2022].
- Brown, M.S. (1967). "Texture of frozen vegetables: Effect of freezing rate on green beans". Journal of the science of food and agriculture, 18(2), pp. 77-81 DOI: 10.1002/jsfa.2740180209. [Consultado: 22/06/2022].
- Estudio del efecto de la temperatura de cocción en la calidad nutricional y la textura en un producto de V gama esterilizado a partir de judía verde. [Consultado: 18/06/2022].
- Infoagro El cultivo de la judía. Disponible en: <https://www.infoagro.com/hortalizas/judia.htm> [Consultado: 06/06/2022].
- LEE, C.Y., SMITH, N.L. y HAWBECKER, D.E. (1988). "ENZYME ACTIVITY AND QUALITY OF FROZEN GREEN BEANS AS Affected BY BLANCHING AND STORAGE". Journal of food quality, 11(4), pp. 279-287 DOI: 10.1111/j.1745-4557.1988.tb00888.x. [Consultado: 22/06/2022].
- Método 967.21 de la AOAC. Determinación Vitamina C.[Consultado: 18/06/, 2022].
- MUFTUGIL, N. (1986). "EFFECT OF DIFFERENT TYPES OF BLANCHING ON THE COLOR AND THE ASCORBIC ACID AND CHLOROPHYLL CONTENTS OF GREEN BEANS". Journal of food processing and preservation, 10(1), pp. 69-76 DOI: 10.1111/j.1745-4549.1986.tb00006.x. [Consultado: 22/06/2022].

- Rickman, J.C., Barrett, D.M. y Bruhn, C.M. (2007). "Nutritional comparison of fresh, frozen and canned fruits and vegetables. Part 1. Vitamins C and B and phenolic compounds". *Journal of the science of food and agriculture*, 87(6), pp. 930-944 DOI: 10.1002/jsfa.2825. [Consultado: 21/06/2022].
- STONE, M.B. y YOUNG, C.M. (1985). "EFFECTS OF CULTIVARS, BLANCHING TECHNIQUES, AND COOKING METHODS ON QUALITY OF FROZEN GREEN BEANS AS MEASURED BY PHYSICAL AND SENSORY ATTRIBUTES". *Journal of food quality*, 7(4), pp. 255-265 DOI: 10.1111/j.1745-4557.1985.tb01057.x. [Consultado: 21/06/2022].
- Williams, D.C., Lim, M.H., Chen, A.O., Pangborn, R.M. y et al. Journal Article Blanching of vegetables for freezing: which indicator enzyme to choose. Disponible en: <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US8712585>. [Consultado: 18/06/2022].