



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

**Titulación: Ingeniería Agroalimentaria y del
Medio Rural**

Mención: Industrias Agroalimentarias

**Calidad en la cosecha y aptitud para la congelación de
variedades de judía verde comerciales en condiciones
del campo aragonés.**

**Harvest quality and ability to freeze commercial green
beans varieties under Aragonese countryside conditions.**

Autor/es

María Luisa Miedes Arnal

Director/es

**María Eugenia Venturini Crespo
Ana Pilar Gracia Alquézar**

**ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR
Año 2024**

INDICE

1.	RESUMEN	1
2.	INTRODUCCION	3
2.1.	Taxonomía y botánica.....	3
2.2.	Fenología.....	5
2.3.	Plagas y enfermedades	5
2.4.	Tipologías varietales	7
2.5.	Contenido nutricional	10
2.6.	Conservación y transformación post-cosecha.....	11
2.7.	Producción, consumo y comercio de judía verde	16
3.	JUSTIFICACION Y OBJETIVOS	22
4.	MATERIAL VEGETAL Y DESARROLLO EXPERIMENTAL	26
4.1.	Material vegetal	26
4.2.	Desarrollo experimental.....	31
5.	MÉTODOS.....	37
5.1.	Parámetros agronómicos	37
5.2.	Evaluación morfológica y presencia de alteraciones	37
5.3.	Evaluación instrumental del color.....	39
5.4.	Evaluación de la firmeza	40
5.5.	Determinación de clorofilas.....	41
5.6.	Determinación de compuestos fenólicos.....	42
5.7.	Determinación de la capacidad antioxidante mediante el método del radical libre 2,2-difenil-1-picrilhidrazil (DPPH).....	44
5.8.	Determinación de ácido ascórbico	46
5.9.	Análisis sensorial	46
5.10.	Análisis estadístico	51
6.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	52

6.1.	Parámetros agronómicos	52
6.2.	Parámetros morfológicos.....	53
6.3.	Color instrumental (coordenadas CIELab).....	56
6.4.	Firmeza	59
6.5.	Parámetros químicos.....	61
6.5.1.	Contenido en clorofila total y clorofilas a y b	62
6.5.2.	Determinación de fenoles	65
6.5.3.	Determinación de la capacidad antioxidante (TAC) mediante DPPH.	67
6.5.4.	Determinación de ácido ascórbico	69
6.6.	Análisis sensorial y características físico-químicas tras cocinado.....	72
7.	CONCLUSIONES	76
8.	BIBLIOGRAFIA.....	77

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. <i>Phaseolus vulgaris</i>	3
Figura 2.2. Flor de <i>Phaseolus vulgaris</i>	4
Figura 2.3. Fruto de <i>Phaseolus vulgaris</i>	4
Figura 2.4. Raíz de leguminosa con nódulos de bacterias del género <i>Rhizobium</i>	4
Figura 2.5. <i>Hicoverpa armigera</i> y daños en fruto	6
Figura 2.6. <i>Botrytis</i> y <i>Sclerotinia</i>	7
Figura 2.7. Judía verde, variedad porte enano, variedad de enrame.....	7
Figura 2.8. Cosechadora de judías verdes	12
Figura 2.9. Procesos de congelación en tejidos vegetales y sus efectos.....	16
Figura 2.10. Producción (miles t) de judía verde y mayores productores en 2021.....	17
Figura 2.11. Producción (miles de t) de judía verde en España.....	17
Figura 2.12. Superficie (miles de ha) de judía verde cultivada en España.....	18
Figura 2.13. Producción de judía verde en España por comunidad autónoma	18
Figura 2.14. Consumo de judía verde fresca en España.....	19
Figura 2.15. Producción (miles de t) de verduras ultracongeladas en España	20
Figura 4.1. Parcela de ensayo de variedades de judías comerciales en Tauste, croquis de la distribución en la parcela y cultivo de las mismas	26
Figura 4.2. Variedades de judía verde cultivadas en la campaña 2023, vaina entera y corte transversal	28
Figura 4.3. Crecimiento vegetativo de la judía verde.....	29
Figura 4.4. Temperaturas máximas y mínimas (°C) en Ejea de los Caballeros durante el ciclo vegetativo en las campañas 2023 y 2022 y temperaturas máximas y mínimas para crecimiento vegetativo óptimo, floración y fructificación óptima.....	29
Figura 4.5. Humedad relativa media (%) en Ejea de los Caballeros durante el ciclo vegetativo en las campañas 2023 y 2022 y humedad relativa máximas y mínimas para periodo vegetativo óptimo	30

Figura 4.6. Precipitaciones (mm) en Ejea de los Caballeros durante el ciclo vegetativo en las campañas 2023 y 2022	30
Figura 4.7. Velocidad máxima del viento (m/s) en Ejea de los Caballeros durante el ciclo vegetativo en las campañas 2023 y 2022.....	31
Figura 4.8. Curva de congelación (°C) de las distintas variedades de judía verde durante la congelación en túnel de aire forzado (congelación rápida).....	33
Figura 4.9. Muestra de judía Usambara, tras el escaldado para su congelación en cámara.....	35
Figura 4.10. Curvas de congelación de judía verde en cámara de aire estático (congelación lenta).....	35
Figura 4.11. Diagrama del desarrollo experimental en Planta Piloto con detalle de los momentos de análisis	36
Figura 5.1. Ficha de evaluación morfológica de variedades de judía verde.....	38
Figura 5.2. Escala de roces en judía verde. 1: no presencia de roces, 2: leve < 25 % de la superficie, 3: moderada 25-50 % de la superficie afectada y con roces de mayor profundidad y coloración y 4: intensa > 50 % de la superficie afectada con roces de mayor intensidad	39
Figura 5.3. Colorímetro Minolta CR400.....	39
Figura 5.4. Texturómetro TA-XT2i y cuchilla de corte A/BS según método AIB.....	41
Figura 5.5. Ultra-Turrax T25 basic IKA-WERKE y centrifugadora Digicen 20.....	42
Figura 5.6. Reacción redox en el método Folin-Ciocalteu.....	43
Figura 5.7. Lector automático de absorbancia en microplacas HEALES modelo 580.....	44
Figura 5.8. Recta patrón para la determinación de fenoles.....	44
Figura 5.9. Espectro de absorción del DPPH en su forma radicalaria y su forma estable.....	45
Figura 5.10. Recta patrón determinación de capacidad antioxidante.....	45
Figura 5.11. Recta patrón con ácido ascórbico para la determinación de la vitamina C..	46
Figura 5.12. Detalle del puesto de cata.	47
Figura 5.13. Escala de color para valorar el verde característico de judía.....	48

Figura 5.14. Escala de color para valorar el pardeamiento de judía.....	48
Figura 5.15. Hoja de cata utilizada en el análisis sensorial de judía verde.....	50
Figura 6.1. Características morfológicas de las diferentes variedades.....	54
Figura 6.2. Muestra de judía verde afectada por taladro (variedad Modesto).....	55
Figura 6.3. Capacidad antioxidante (mmol Fe ²⁺ /100 g) y (mmol Trolox/100g) en espárragos, calabacines y judía verdes.....	69
Figura 6.4. Variedades Valentino y Santander tras la cocción.....	74

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Características de las principales variedades de judía verde.....	9
Tabla 2.2. Composición nutricional de la judía verde.....	10
Tabla 4.1. Velocidad de congelación en túnel (°C/min) entre diferentes rangos de temperatura para las diferentes variedades de judía verde.....	34
Tabla 4.2. Parámetros de congelación de las distintas variedades de judía verde.....	34
Tabla 4.3. Velocidad de congelación en cámara (°C/min) entre 0 y -5 °C.....	36
Tabla 6.1. Rendimientos en recolección de las distintas variedades de judía verde cultivadas en Tauste (Aragón, España).....	52
Tabla 6.2. Características morfológicas en vainas de judía verde cultivadas en Tauste (Zaragoza) en el momento de la recolección.....	53
Tabla 6.3. Intensidad de roces y afección por taladro en vainas de judía verde cultivadas en Tauste (Zaragoza) en el momento de la recolección.....	55
Tabla 6.4. Coordenada L* en distintas variedades de judía verde en fresco, tras su escaldado y tras su escaldado y almacenamiento 6 meses a -18 °C en muestras congeladas lentamente (aire estático), rápidamente (aire forzado) y ultrarrápidamente (nitrógeno líquido).....	56
Tabla 6.5. Coordenada a* en distintas variedades de judía verde en fresco, tras su escaldado y tras su escaldado y congelación (lenta (aire estático), rápida (aire forzado) y ultrarrápida (nitrógeno líquido).....	57
Tabla 6.6. Coordenada b* en distintas variedades de judía verde en fresco, tras su escaldado y tras su escaldado y congelación (lenta (aire estático), rápida (aire forzado) y ultrarrápida (nitrógeno líquido).....	57
Tabla 6.7. Diferencias de color según ΔE CIELAB (1976) de las distintas variedades de judía verde entre los diferentes procesos realizados para su congelación y entre los distintos métodos de congelación. $\Delta E < 3$: diferencias de color no apreciables entre ambas muestras. $\Delta E > 3$: las diferencias de color entre ambas muestras son apreciables por el ojo, resaltados en verde claro.....	58
Tabla 6.8. Comparación del color visual en judías verdes en fresco y tras el proceso para su congelación (escaldado y congelaciones lenta, rápida y ultrarrápida)	59

Tabla 6.9. Firmeza (kgF) en distintas variedades de judía verde en fresco, tras su escaldado y tras su escaldado y 6 meses en congelación (lenta (aire estático), rápida (aire forzado) y ultrarrápida (nitrógeno líquido).....	60
Tabla 6.10. Disminución de la firmeza (%) en distintas variedades de judía verde en las distintas etapas del proceso: escaldado y congelación (lenta (aire estático), rápida (aire forzado) y ultrarrápida (nitrógeno líquido).....	61
Tabla 6.11. Contenido de clorofila total (mg/100g.p.f.) en distintas variedades de judía verde en fresco, tras su escaldado y tras su escaldado y congelación (lenta (aire estático), rápida (aire forzado) y ultrarrápida (nitrógeno líquido)	62
Tabla 6.12. Contenido de clorofila a (mg/100 g.p.f) en distintas variedades de judía verde en fresco, tras su escaldado y tras su escaldado y congelación (lenta (aire estático), rápida (aire forzado) y ultrarrápida (nitrógeno líquido).....	63
Tabla 6.13. Contenido de clorofila b (mg/100 g.p.f.) en distintas variedades de judía verde en fresco, tras su escaldado y tras su escaldado y congelación (lenta (aire estático), rápida (aire forzado) y ultrarrápida (nitrógeno líquido).....	63
Tabla 6.14. Variación de clorofila total (%) en distintas variedades de judía verde en las distintas etapas del proceso: escaldado y congelación (lenta (aire estático), rápida (aire forzado) y ultrarrápida (nitrógeno líquido).....	64
Tabla 6.15. Ratio clorofila a/b en las diferentes variedades de judía verde.....	65
Tabla 6.16. Compuestos fenólicos (mg ácido gálico/100 g.p.f.) en distintas variedades de judía verde en fresco, tras su escaldado y tras su escaldado y congelación (lenta (aire estático), rápida (aire forzado) y ultrarrápida (nitrógeno líquido).....	65
Tabla 6.17. Variación de compuestos fenólicos (%) en distintas variedades de judía verde en las distintas etapas del proceso: escaldado y congelación (lenta (aire estático), rápida (aire forzado) y ultrarrápida (nitrógeno líquido)	66
Tabla 6.18. Capacidad antioxidante ($\mu\text{mol Trolox /100 g.p.f}$) en distintas variedades de judía verde en fresco, tras su escaldado y tras su escaldado y congelación (lenta (aire estático), rápida (aire forzado) y ultrarrápida (nitrógeno líquido).....	67
Tabla 6.19. Variación de la capacidad antioxidante (tanto por uno) en distintas variedades de judía verde en las distintas etapas del proceso: escaldado y congelación (lenta (aire estático), rápida (aire forzado) y ultrarrápida (nitrógeno líquido).....	68

Tabla 6.20. Ácido ascórbico (mg/100 g.p.f) en distintas variedades de judía verde en fresco, tras su escaldado y tras su escaldado y congelación (lenta (aire estático), rápida (aire forzado) y ultrarrápida (nitrógeno líquido)).....	70
Tabla 6.21. Variación de ácido ascórbico (tanto por uno) en distintas variedades de judía verde en las distintas etapas del proceso: escaldado y congelación (lenta (aire estático), rápida (aire forzado) y ultrarrápida (nitrógeno líquido)).....	71
Tabla 6.22. Evaluación sensorial de distintas variedades de judía verde tras 6 meses en congelación a -20 °C y posterior cocinado (10 min a 100 °C en cocción abierta).....	72
Tabla 6.23. Evaluación de las distintas variedades en función de sus parámetros agronómicos, físico-químicos y nutricionales tras el proceso de congelación y la aceptación por el consumidor tras cocinado.....	73
Tabla 6.24. Coordenadas de color y firmeza (kgF) en variedades de judía verde tras almacenamiento en congelación y cocinado	74
Tabla 6.25. Variación (%) de color y firmeza en variedades de judía verde congelada tras cocinado	74
Tabla 6.26. Clorofila total, fenoles, capacidad antioxidante y ácido ascórbico (mg/100 g.p.f), en variedades de judía verde tras almacenamiento en congelación y cocinado	75
Tabla 6.27. Variación (%) en clorofila total, fenoles, capacidad antioxidante y ácido ascórbico en variedades de judía verde congelada tras cocinado	75

1. RESUMEN

En este trabajo se han estudiado las características morfológicas y físico-químicas, así como la aptitud para la congelación de seis variedades comerciales de judías verdes (*Phaseolus vulgaris L.*) cultivadas en Tauste (Zaragoza) como alternativa de segunda cosecha. Las variedades evaluadas fueron Usambara, una variedad plana, 4 variedades redondas (Modesto, Valentino, Dominio y Santander) y 1 variedad redonda de color amarillo pajizo (Dior).

Para ello, se determinaron sus caracteres morfológicos (peso, anchura, longitud de las vainas y sección), la apariencia visual (curvatura, posición de pico, presencia de roces), los parámetros físico-químicos como firmeza, color, contenido en clorofila y parámetros nutricionales como el contenido en vitamina C, los fenoles totales y la capacidad antioxidante, tanto en el momento de la recolección como durante el procesado industrial como judía verde congelada (escaldado y 3 velocidades de congelación (lenta, rápida y ultrarrápida) así como tras su almacenamiento 6 meses en congelación a -18 °C y posterior cocinado (cocción a 100 °C). Tras el cocinado también se realizó un análisis sensorial y de los parámetros físico-químicos.

En cuanto a los parámetros agronómicos destacan Valentino por su porte alto, lo que facilita la recolección mecanizada, y escasa afección por taladro y Santander por su rendimiento y su escasa presencia de roces. Todas las variedades mostraron una buena aptitud para el procesado industrial ya que no se detectaron afecciones notables ni en el color, ni en la firmeza, ni olores, ni sabores extraños, tras su congelación por aire forzado (similar al industrial) y almacenamiento en congelación. Destacaron en el análisis físico-químico Valentino por su firmeza, contenido en clorofila y fenoles y Santander por su contenido en ácido ascórbico y su capacidad antioxidante. En cuanto a la apreciación visual por el consumidor, Valentino fue la mejor puntuada por su color verde intenso mientras que Santander fue la mejor valorada en cuanto a sabor característico a judía verde.

Ambas variedades, Valentino y Santander, muestran su adaptación a las condiciones de cultivo como segunda cosecha en la Comarca de las Cinco Villas y su adecuación al procesado industrial como judías verdes congeladas.

PALABRAS CLAVE: Judía verde, *Phaseolus vulgaris L.*, Cinco Villas, características agronómicas, físico-químicas, sensoriales, aptitud congelación.

ABSTRACT

In this work, the morphological and physical-chemical characteristics, as well as the suitability for freezing of six commercial varieties of green beans (*Phaseolus vulgaris* L.) grown in Tauste (Zaragoza) as an alternative for second harvest, have been studied. The varieties evaluated were Usambara, a flat variety, 4 round varieties (Modesto, Valentino, Dominio and Santander) and 1 round variety of straw yellow colour (Dior).

To this end, their morphological characteristics (weight, width, pod length and section), visual appearance (curvature, pedicel position, presence of rubs), physical-chemical parameters such as firmness, colour, chlorophyll content and nutritional parameters such as vitamin C content, total phenols and antioxidant capacity were determined, both at the time of harvest and during industrial processing as frozen green beans (blanching and 3 freezing speeds (slow, fast and ultra-fast) as well as after 6 months of storage in freezing at -18 °C and subsequent cooking (cooking at 100 °C)). After cooking, a sensory analysis and the evaluation of the physical-chemical parameters were also carried out.

As for the agronomic parameters, Valentino stands out for its tall stature, which facilitates mechanical harvesting, and its low damage by borer, and Santander for its performance and low presence of rubs. All varieties showed a good suitability for industrial processing since no significant damage was detected. Neither in colour nor in firmness nor strange odours or flavours after forced air freezing (similar to industrial freezing) and frozen storage. Valentino stood out in the physical-chemical analysis for its firmness, chlorophyll and phenol content and Santander for its ascorbic acid content and antioxidant capacity. As for the visual appreciation by the consumer, Valentino was the best rated for its intense green colour while Santander was the best rated for its characteristic green bean flavour.

Both varieties, Valentino and Santander, show their adaptation to the growing conditions as a second harvest in the Comarca de las Cinco Villas and their suitability for industrial processing as frozen green beans.

KEYWORDS: Green beans, *Phaseolus vulgaris* L, Cinco Villas, agronomic, physical-chemical, sensory characteristics, freezing suitability.

2. INTRODUCCION

La judía verde (*Phaseolus vulgaris* L.) es una planta de procedencia americana originaria de la región mesoamericana (Méjico - América Central) pero con un importante centro de dispersión en Perú, Ecuador y Bolivia, fue traída de América por los españoles en el S.XVI (Carravedo, 2008). Pertenece a la familia de las leguminosas. Se cultiva para el aprovechamiento de sus vainas verdes, o de sus semillas, bien en consumo en fresco, congelado o para conserva. Es una planta herbácea y anual que, en condiciones climáticas favorables, tiene un crecimiento rápido y da cosecha de 3 a 4 meses, según variedades.

2.1. Taxonomía y botánica

La planta de la judía verde posee tallos herbáceos y finos, con hojas acorazonadas sencillas y trifoliadas. Según su porte se clasifican en, porte bajo (30-40 cm de altura), y porte alto con tallos trepadores que alcanzan 2-3 m y se cultivan mediante tutores (figura 2.1).



Figura 2.1. *Phaseolus vulgaris*. (Fuente: Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA) y DenesFeri)

Las flores forman racimos de 4 a 8 unidades, sobre pedúnculos que nacen de las axilas de la hoja o en el ápice de algunos tallos. Su color puede ser blanco, violeta, rosado, incluso bicolor, y resulta característico según las variedades (figura 2.2).



Figura 2.2. Flor de *Phaseolus vulgaris*. (Fuente:CITA)

Los frutos son legumbres (vainas) en cuyo interior se encuentran de 4 a 6 semillas. La forma y color de las vainas son características varietales que, en muchos casos, determinan las preferencias del mercado. Pueden ser de forma cilíndrica o aplanada, y recta o más o menos curva. Las dimensiones varían de 0,5 centímetros a 4 centímetros de ancho y de 10 a 50 centímetros de longitud. Los colores van del verde al amarillo, en tonos e intensidades diversos, con jaspeados en marrón o en rojo sobre fondo verde (figura 2.3).



Figura 2.3. Fruto de *Phaseolus vulgaris*. (Fuente: CITA)

La raíz suele ser poco profunda, con un eje principal y una importante cabellera de raíces secundarias que se ramifican superficialmente. Las raíces poseen nódulos (figura 2.4) que contienen bacterias del género *Rhizobium*, con capacidad de fijar nitrógeno atmosférico y transformarlo en productos nitrogenados reutilizables por la planta.



Figura 2.4. Raíz de leguminosa con nódulos de bacterias del género *Rhizobium*. (Fuente: Carravedo-Fantova ,2008)

Las semillas pueden conservarse entre uno y tres años en función de las condiciones de conservación.

2.2. Fenología

La judía es una planta sensible al frío, por lo que las producciones más elevadas se consiguen en lugares cálidos o en invernadero. El desarrollo vegetativo es máximo entre los 18 y los 30 °C, con temperaturas inferiores se retrasa la vegetación y a los 8 °C se detiene el crecimiento. Las altas temperaturas y la escasez de agua deshidratan la planta y producen desequilibrios vegetativos. La fecundación y la fructificación precisan de temperaturas entre los 15 y los 25 °C. Temperaturas inferiores o más altas producen aborto de flores y deformaciones de los frutos. Una humedad alta y uniforme (60-75%) mejora el rendimiento y la calidad de la judía. Por el contrario, un exceso de agua en el suelo deprime el crecimiento de la planta y produce una vegetación de color pajizo.

Los terrenos sueltos, arenosos, silicio-limosos, ricos en potasa con un pH entre 6 y 7 son los más apropiados para el desarrollo de la judía. No obstante, se adapta bien a todo tipo de terrenos, siendo los menos indicados los arcillosos, calizos y salinos. La cal produce una vegetación clorótica y un porte achaparrado en la planta, así como un embastecimiento de los frutos (judías con hebra). La judía es uno de los cultivos hortícolas más sensibles a las sales en los suelos y en las aguas de riego, donde un exceso disminuye el rendimiento de la cosecha. También es sensible al exceso de boro, así como la escasez de cobre, manganeso, magnesio y cinc, sobre todo en suelos calizos (Llanos-Company 1998).

2.3. Plagas y enfermedades

Como plaga fundamental por la época del cultivo (verano) la *Helicoverpa armígera* o taladro (figura 2.5) es el problema más grave pues devora muchas vainas, se introduce en ellas y ocasiona problemas añadidos de proliferación de *Botrytis*. La incidencia es variable según el año, pero siempre importante. Dos de cada tres tratamientos que se aplican son piretrinas autorizadas (cipermetrina 10 %, taufluvanilato, lambda-chialotrin o deltametrina) (Registro de productos fitosanitarios, 2024).



Figura 2.5. *Hicoverpa armigera* (izqda.) (Fuente: Rodríguez-Eguilaz, 2007) y daños en fruto (dcha.).

Las enfermedades fúngicas más comunes son *Botrytis* y *Sclerotinia* sobre todo cuando a finales de agosto y en septiembre son frecuentes las lluvias y tormentas, y/o por mal manejo del riego. En el cultivo de invernadero afecta principalmente a cultivos de mata alta por la gran masa de forraje y las siembras densas.

La podredumbre gris es producida por el hongo *Botrytis cinerea*, que presenta un aspecto de enmohecimiento gris en vainas, hojas y tallos (figura 2.6). El desarrollo de la enfermedad se ve favorecido cuando existe una humedad relativa alta, deficiente ventilación, abundante masa vegetal, marcos de plantación estrechos y exceso de abono nitrogenado. Se inicia la infección, generalmente, en una herida, por lo que al producirse cualquier tipo de lesión en la planta es suficiente para que el hongo penetre e invada los tejidos, multiplicándose rápidamente. El hongo se conserva en el suelo y los restos vegetales. Sus conidias son transportadas por el viento, agua, durante la recolección, por los aperos, etc., posándose en las flores y en los frutos (Reche-Marmol, 2005).

Sclerotinia sclerotiorum ocasiona la llamada podredumbre blanca. El hongo se desarrolla al nivel del suelo como resultado de infecciones de cosechas anteriores. En condiciones de humedad relativa alta y temperaturas suaves germinan los esclerocios del hongo, cuyas esporas se posan posteriormente sobre las flores, frutos, etc. El hongo ataca a los tallos, pecíolos y frutos jóvenes, reblandeciéndolos y recubriendo con un fieltro blanquecino (figura 2.6). En vainas aparece según la fase del ataque, podredumbres y reblandecimiento del tejido. A menudo el ápice del fruto se encuentra retorcido y más delgado, con presencia de manchas húmedas en los frutos recién cuajados que se

recubren en la parte central de un micelio algodonoso y exudado (Reche-Marmol, 2005). El tratamiento es posible con productos autorizados como la boscalida.



Figura 2.6. *Botrytis* (izqda.) y *Sclerotinia* (dcha.) (Fuente: Rasbak, 2005, 2009)

2.4. Tipologías varietales

Las variedades de judía verde se clasifican en variedades de porte enano, con tallos erectos de 40 a 60 cm y sin zarcillos, y de enrame con tallos volubles y con zarcillos (figura 2.7).



Figura 2.7. Judía verde, variedad porte enano (izqda.) (Fuente: CITA), variedad de enrame (Fuente: Zell, 2010)

Las variedades de porte enano suelen ser más precoces y menos productivas que las de enrame, pero más fácilmente mecanizable su manejo y por ello más adaptadas a la industria. Para facilitar el cultivo y la recolección mecanizados es fundamental la uniformidad de la producción y la agrupación de la maduración que permiten reducir considerablemente las pérdidas ocasionadas al realizar la recolección en una sola pasada. La recolección con cosechadora exige variedades de mata baja con plantas de porte erguido, sin zarcillos, cuya fructificación no se inicie muy abajo y que los frutos se desprendan con facilidad de los tallos. Para la industria conservera se prefieren variedades carnosas, que mantengan su carne firme al final del proceso industrial, rectas, de color no muy intenso, de sección redondeada (para facilitar el calibrado), sin hilo ni pergamino y con semillas blancas que no den color al líquido de gobierno de la conserva y en la industria de congelados además se valora que sean poco sensibles a dicho proceso que si no puede provocar pérdidas de color y aroma y decoloraciones de la epidermis. Las variedades cilíndricas son mayoritariamente dedicadas a la industria conservera y de congelados, con la variedad Contender como más popular para la industria conservera, de un color verde medio, de 16 a 18 cm de longitud, 10 mm de diámetro y 35-45 días para fructificación. (López-Aranda, 1976). El 14 % de las variedades comerciales se destinan a la industria.

Las variedades planas son las más apreciadas en el mercado especialmente para fresco y entre ellas, las heldas (64%) y las peronas (29%) destacan por ser tiernas y sin hebras. Además, cuecen bien, tienen buen transporte, aunque una conservación delicada. El periodo de permanencia del producto en las Mercas es de tres días, en cámaras de 4-6 °C y se pueden conservar alrededor de una semana en la parte menos fría de frigorífico en bolsa perforada. En el mercado español están presentes entre nueve y once meses al año. El mercado industrial es prácticamente testimonial debido a la necesidad de su calibrado y despuntado manual. ([Mercasa](#)). El 86% de las variedades comerciales se destinan al consumo en fresco

En la tabla 2.1 se presentan las variedades más comunes, clasificadas por su porte: bajo/alto, por el tipo de vaina: cilíndrica/plana, se dan las características de sus frutos, su precocidad (días de cultivo hasta la producción de frutos) y su tolerancia al frío y al calor.

Tabla 2.1. Características de las principales variedades de judía verde (Adaptada de Llanos-Company 1998). En negrita las incluidas en este estudio.

	Nombre variedad	Características fruto			Precocidad días	Tolerancia	
		color	longitud (cm)	diámetro/anchura (mm)		frio	calor
Porte bajo/ vaina plana	Atlanta	verde claro	18/19	19	precoz		
	Bina	verde medio	15	20			
	Garrafal	verde	50/60	15/20			
	J-9204	verde medio	12/13	25	45		
	Nassau	verde claro	18/20	15/18	45-55		
	Roma II	verde medio	14/15	15/20	media		
	Slica	verde medio	14/15			poca	media
	Usambara	verde medio	16/17	18	media-tardía		
Porte bajo/ vaina cilíndrica	Belinda	verde claro	15	10	60		
	Calima (filet)	verde	15/17	8/10	temprana	mucha	media
	Contender	verde medio	16/17	10	35/45		
	Fesca	verde	14/15	10/12		mucha	media
	Gator Green	verde	17/19	8	40		
	Goldrush	amarillo	15	8/9	54		
	Golden rod	amarillo	15/18	8/9	45		
	Ilerda	amarillo	15/16	10	media		
	Lamora	verde	14/15	8/10		media	media
	Mantano	verde oscuro	12/13	10	precoz		
	Modus	verde oscuro	14/15	10/12	semi-precoz	media	media
	Primel	verde oscuro	15/18	10	muy precoz		
	Procdor	amarillo	13/16	10	precoz		
	Rido	verde	11/12	6/8	precoz	mucha	media
	Strike	verde claro	14	8/9	52		
	Talgo	verde oscuro	17/19	10	media		
	Dior	amarillo	10/16	6/8	precoz		
	Dominio	Verde	12/13	6/8	precoz		
	Modesto	verde medio	14/16	6/9	semi-precoz		
	Santander	verde medio	10/16	7/9	precoz		
Valentino	verde oscuro	13/15	10	precoz		media	
Porte alto/ vaina plana	Bizet	verde	21/25	19/22			
	Buenos aires	verde medio	15/18	22			
	Buenos aires roja	verde/ rojas	18	25	70-120		
	Femira	verde fuerte	22		85		
	Garrafal oro	verde	18/20	15/18			
	Goldmaire	amarillo	22	22	tardía	mucha	poca
	Hazel	verde	20/22	21/23			
	Helda	verde medio	24/26	22	70	mucha	mucha
	Indal	verde	20/24	16/18			
	Mantra RZ	verde	23		90		
	Nuria	verde	16/18		precoz	media	media
	Num 5004	verde	22/24		precoz	media	media
	Oro del Rhin	amarillo	20	20			
	Perona S.Jota	verde medio	18/20	20	tardía		
	Pursan	verde	24/28	20	precoz	mucha	poca
	Sabinal	verde intenso	22/24	20	precoz	mucha	mucha
	SG-6701	verde	22/24	20	precoz		
	Zondria	verde medio	24	24			
	Abundancia	verde medio	17/18	11/12	semi-precoz		
	Diamant	verde medio	17/18	11/12	semi precoz		
porte alto/	Emerite	verde	16/18	10	precoz		
	Paros	verde medio	12/14	8/10	muy precoz	mucha	mucha
	Perfection noir	verde medio	14/16	10	precoz		
	Santil (filet)	verde	16/18	10/12	tardía	poca	mucha

2.5. Contenido nutricional

La composición nutricional media de la judía verde se recoge en la tabla 2.2. Después del agua, el principal componente de la judía verde son los hidratos de carbono. El contenido en proteínas es escaso, aunque superior al de lípidos y con un valor calórico bajo. Su contenido en fibra es elevado (la presencia de fibra soluble ayuda a disminuir el nivel de colesterol en sangre). Además, aporta calcio, potasio, yodo, zinc, hierro y fósforo. Su elevado contenido en potasio, junto con la arginina, hace que tenga efectos beneficiosos en la cistitis o uretritis. Diversos estudios han revelado beneficios en enfermedades degenerativas, así como compuestos como el inositol que es anticancerígeno (Pérez-Barbeito, 2008).

Tabla 2.2. Composición nutricional de la judía verde (adaptada de Moreiras *et al.* 2013)

Composición	Por 100 g de porción comestible	Composición	Por 100 g de porción comestible
Energía (kcal)	37	Potasio (mg)	280
Proteínas (g)	2,3	Fósforo (mg)	44
Lípidos totales (g)	0,2	Selenio (µg)	1,4
AG saturados (g)	0,04		
AG monoinsaturados (g)	0,01		
AG poliinsaturados (g)	0,11		
AG poliinsaturados (g)	0,064		
Ω-3 (g)*	0,045		
C18:2 linoleico (Ω-6) (g)	0	Tiamina (mg)	0,06
Hidratos de carbono (g)	5	Riboflavina (mg)	0,1
Fibra (g)	2,9	Equivalentes niacina (mg)	1,3
Agua (g)	89,6	Vitamina B6 (mg)	-
Calcio (mg)	40	Folatos (µg)	60
Hierro (mg)	0,9	Vitamina B12 (µg)	0
Yodo (µg)	32	Vitamina C (mg)	24
Magnesio (mg)	26	Vitamina A: Eq. Retinol (µg)	33,5
Zinc (mg)	0,2	Vitamina E (mg)	-
Sodio (mg)	2		

A destacar su contenido en vitamina C, una vitamina esencial hidrosoluble, que actúa como antioxidante celular, y facilita la absorción intestinal del hierro y el mantenimiento del mismo en el plasma, el consumo recomendado de vitamina C es 25 mg/día para niños de 4 a 8 años, 75 mg/día para mujeres y 90 mg/día para los hombres, también contiene betacarotenos que se consideran antioxidantes y luteína que se ha relacionado con un menor riesgo de cataratas y degeneración macular senil.

También poseen compuestos polifenólicos que se han relacionado con la inhibición de mecanismos que pueden desarrollar enfermedades cardiovasculares y como que se

ha relacionado con la actividad antidiabética (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA), s.f.).

La clorofila posee propiedades anticancerígenas, antibacterianas, antioxidantes y energizantes, ayuda a oxigenar la sangre y desintoxicar a nuestro organismo, así mismo ayuda a desintegrar cálculos y es un efectivo desinflamatorio. También se recomienda para reducir los altos niveles de colesterol y triglicéridos.

La Organización Mundial de la Salud recomienda un consumo mínimo de 155 kg de frutas y hortalizas por persona y año (425 g/día), estando España a ese nivel. En concreto el consumo fresco de judía en España fue de 3,6 g/día en 2022.

2.6. Conservación y transformación post-cosecha

Para conseguir una buena calidad del producto final, hay que controlar las diferentes etapas del proceso de conservación.

Recolección

La recogida para fresco debe iniciarse antes de que las semillas empiecen a destacar a través de la vaina. Si se cosecha antes de que las vainas lleguen a su máximo tamaño se puede conseguir más rendimiento, ya que al descargar la planta se estimula la floración y se producen más vainas por planta. Pero al cosechar las judías más tiernas se puede producir más porcentaje de pérdidas antes de que lleguen al consumidor, lo que reduciría el rendimiento final. Para la recolección manual para fresco, la recogida se hará suavemente para evitar heridas a la planta que son foco de enfermedades tipo *Botrytis* y *Sclerotinia*. Para ello se sujerarán con la mano izquierda los tallos, mientras que con la mano derecha se tirará de las vainas que estén para recolectar, procurando no dañar los zarcillos al tirar de ellas. No es bueno zarandear las plantas, ya que pueden dañarse las vainas en formación. Sería ideal cortar los pedúnculos de los frutos sin tirar de ellos. Una persona puede recoger en la jornada de ocho hoas unos 60-70 kg de productos. La recolección mecánica se hace mediante cosechadoras (figura 2.8) compuestas de un cilindro arrancador en sentido paralelo a la dirección de la marcha y de la línea de cultivo, de un cepillo cilíndrico, situado en paralelo con el cilindro arrancador girando en sentido contrario y cuyas cerdas se cruzan con los dedos arrancadores, con lo que se facilita la descarga de follaje y vainas arrancados de las plantas, un transportador, un sacudidor que separa las judías del follaje y los restos, un elevador y un sistema de descarga (De-Fuentes-Cortés, 1969). Las condiciones y tiempo de almacenaje, así como la resistencia de la variedad una vez cosechada, decidirán sobre la conveniencia de anticipar o no la

recolección de las vainas. Si las vainas se cosechan pasado el punto de madurez comercial, pierden calidad y valor al ser más duras y fibrosas, y pierden de peso. Las reservas que la planta destina a engrosar la semilla se pierden para la formación de más flores y vainas. La recolección no debe hacerse con rocío, ni durante las horas de más calor. Desde que salen las primeras flores hasta que se recolectan las vainas transcurren entre siete y doce días, dependiendo de la época, el clima del lugar y la variedad. (Llanos-Company, 1998).



Figura 2.8. Cosechadora de judías verdes (OXBO)

Una vez cosechada, hay que evitar la deshidratación del producto empleando umbráculos y rociando con agua durante el periodo de espera en campo que obviamente debe ser el mínimo requerido.

También es conveniente, si es posible, realizar una preselección en campo para eliminar material afectado por plagas y/o enfermedades o anómalo en calidad.

Prerrefrigeración

Tras su llegada a la central hortícola se debe prerrefrigerar, bajando rápidamente la temperatura hasta 2-10 °C, para su conservación adecuada en fresco o su posterior procesado. El objetivo del preenfriamiento es ralentizar los procesos catabólicos, la maduración, disminuir la desecación, evitar pérdidas de peso, crecimiento de patógenos, mejorar la posterior conservación y conseguir una menor oscilación térmica en los equipos de mantenimiento en refrigeración. Esta refrigeración previa se suele realizar en túneles de preenfriamiento.

Acondicionamiento

Después del enfriamiento se someten a un proceso de acondicionamiento haciendo una selección para frutos con anomalías o colores anormales, un proceso de limpieza y desinfección (normalmente con hipoclorito sódico) seguido de un aclarado y un proceso de secado mediante ventiladores para finalmente clasificarlas por tamaño y peso.

En el caso de que su destino sea la **congelación** se seguirán las siguientes etapas:

Despuntado y cortado

El despuntado consiste en desechar los extremos de la judía (el pedúnculo y el ápice). Posteriormente se corta la judía en fragmentos de 1 a 8 cm de longitud, en función de su utilización final.

Escaldado

Es un proceso previo a la congelación que pretende conseguir la inactivación de las enzimas que pueden deteriorar el producto en el almacenamiento, eliminar el aire y otros gases ocluidos en los tejidos intercelulares, eliminar residuos de plaguicidas y constituyentes tóxicos, disminuir la carga microbiana y realizar un efecto de lavado. Se realiza a temperaturas entre 70-100 °C con tiempos entre 1-10 min. A pesar de sus ventajas puede conllevar algún inconveniente como pérdida de nutrientes como la vitamina C y cambios de textura por ablandamiento.

Los métodos de escaldado son los siguientes:

- Por inmersión en agua, sencillo y fácil de operar, si el tiempo es prolongado puede dar lugar a pérdida de nutrientes solubles en agua como carbohidratos, proteínas, minerales solubles en agua, vitaminas y azúcares.
- Por vapor sobrecalentado, limita la pérdida de nutrientes y la utilización de agua.
- Escaldado IQB (individual quick blanching), con una etapa de calentamiento vapor a 100 °C durante 30-300 s de una capa única, con temperatura suficiente para la inactivación enzimática y una segunda, en una capa gruesa, para conseguir la inactivación enzimática en el centro del alimento durante 30-540 s. Supone un ahorro de energía y una disminución significativa de efluentes (AINIA, s.f).

El proceso final del escaldado concluye con un enfriamiento para evitar una sobrecocción que puede realizarse por agua o por aire, este proceso de escaldado +

enfriado puede suponer en la judía verde una pérdida entre el 15 y el 19 % del ácido ascórbico (AINIA, s.f.).

Congelación

El proceso de congelación pretende conseguir una fácil conservación durante un largo periodo de tiempo y suele realizarse en plantas cercanas a las zonas de producción.

Los métodos de congelación según la velocidad requerida se clasifican en

- Lenta: menos de 2 °C/min, congeladores de aire estático.
- Rápida: entre 10-100 °C/min, congeladores de aire dinámico.

Según los sistemas de congelación se clasifican en:

- Congelación por aire:
 - o Forzado cámara con circulación de aire
 - o Túneles de congelación: aire a -30/-40 °C con velocidades de 1,5 a 6 m/s, para operación en continuo. Tienen bajo coste y admiten gran variedad de productos. Existe riesgo de quemaduras en alimentos no envasados y posible deshidratación si el alimento no está envasado.
 - o Congeladores de lecho fluidificado: aire a -30/-40 °C, lecho de 3/14 cm, avance del frente de hielo 5-10 cm/h, para congelación de judías y guisantes en 4-6 min. Adaptado a alimentos de tamaño pequeño y uniforme. Alta producción, alta velocidad de congelación y compactos.
- Congelación por contacto
 - o Placas, en el interior de las mismas pasa líquido refrigerante y los productos a congelar se sitúan entre dichas placas asegurando un contacto íntimo entre las placas y el producto a congelar.
 - o Tambor o de superficie rascada
- Congelación por inmersión, se sumerge el producto en un líquido a temperatura inferior a 0 °C que generalmente es salmuera o glicol, tiene elevado coeficiente de transmisión y se pueden congelar productos de formas irregulares pero el líquido refrigerante debe ser eliminado en un proceso posterior de lavado.
- Congelación criogénica mediante un líquido sublimante (CO₂) o en ebullición (N₂) sobre el producto a congelar. La baja temperatura del líquido y el calor que

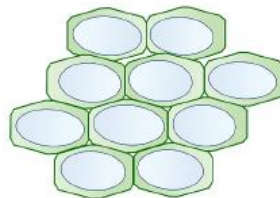
este absorbe en el cambio de fase líquido-gas permite realizar congelaciones muy rápidas del producto. Este método es muy adecuado cuando se persigue que en la congelación no se produzcan pérdidas de agua.

La velocidad de congelación afecta al estado del agua en la estructura celular. En las células de las plantas el agua está presente como vacuolas, en el citosol o como agua extracelular. El agua de las vacuolas es esencial para mantener la presión de turgencia y con ella la firmeza del alimento. El agua en el citoplasma interactúa con las proteínas y los solutos en el citoesqueleto y mantiene la integridad de la membrana.

La congelación lenta se inicia en los espacios extracelulares por el alto punto de congelación, ya que tiene pocos solutos y moléculas enlazadas con el agua. La formación de hielo reduce la cantidad de agua líquida e incrementa la concentración de solutos extracelulares, lo que conlleva a un transporte por osmosis del agua interna de la célula al exterior de esta. Este proceso lleva a una formación grande de cristales de hielo extracelulares, a la deshidratación y deformación de las células. Así mismo, la contracción de la célula puede causar la pérdida de la integridad de la membrana y finalmente el colapso de la célula.

Por otra parte, durante la congelación rápida se forman pequeños cristales más uniformemente distribuidos tanto dentro como en el exterior de las células y las células se contraen y deforman menos. Sin embargo, durante la congelación muy rápida y a temperaturas ultra bajas se puede producir la perforación de la membrana de las células por la rápida expansión del agua, iniciándose en la superficie y progresando al centro, pero en general preservan mejor la microestructura (Schudel *et al.* 2021). Debido a este proceso la congelación en los productos vegetales debe ser siempre rápida.

Células vegetales no congeladas

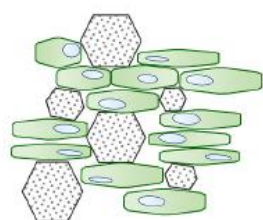


Congelación lenta

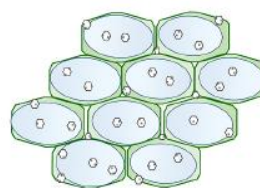
- creación de grandes cristales de hielo extracelulares
- el potencial químico aumenta en el exterior de las células

Congelación rápida

- creación de núcleos de congelación uniformemente distribuidos.
- expansión rápida del volumen celular



Las células se deshidratan y se deforman
Pérdidas por goteo



Perforación de membrana, fuerzas de corte y agrietamiento
Pérdida de textura

Figura 2.9. Procesos de congelación en tejidos vegetales y sus efectos (Adaptado de Schudel *et al.* 2021).

Almacenamiento en congelación

La calidad de las judías verdes se ve afectada por la variación de la temperatura durante el almacenamiento en congelación, ya que estas variaciones provocan desplazamientos de los cristales de hielo debido al crecimiento de los mismos y a la sublimación, para minimizar estas variaciones se recomienda temperatura de almacenamiento en congelación muy por debajo de -18°C , de -20 a -40°C donde las fluctuaciones de temperatura tienen efectos inferiores debido a coeficientes de difusión menores y niveles de actividad (bio)químicas inferiores. Las variaciones de temperatura durante la congelación también pueden ser minimizadas con un embalaje con buenas propiedades aislantes (Van der Sman, 2020).

2.7. Producción, consumo y comercio de judía verde

La producción mundial de judía verde ha ido creciendo en los últimos años de 19,8 millones de t en 2010 a 23,4 en 2021, siendo los mayores productores China, Indonesia, India, Turquía, Francia y Tailandia, destacando el primero con 27 t/ha (figura 2.10.). En Europa destaca la producción francesa con 375 miles de t.

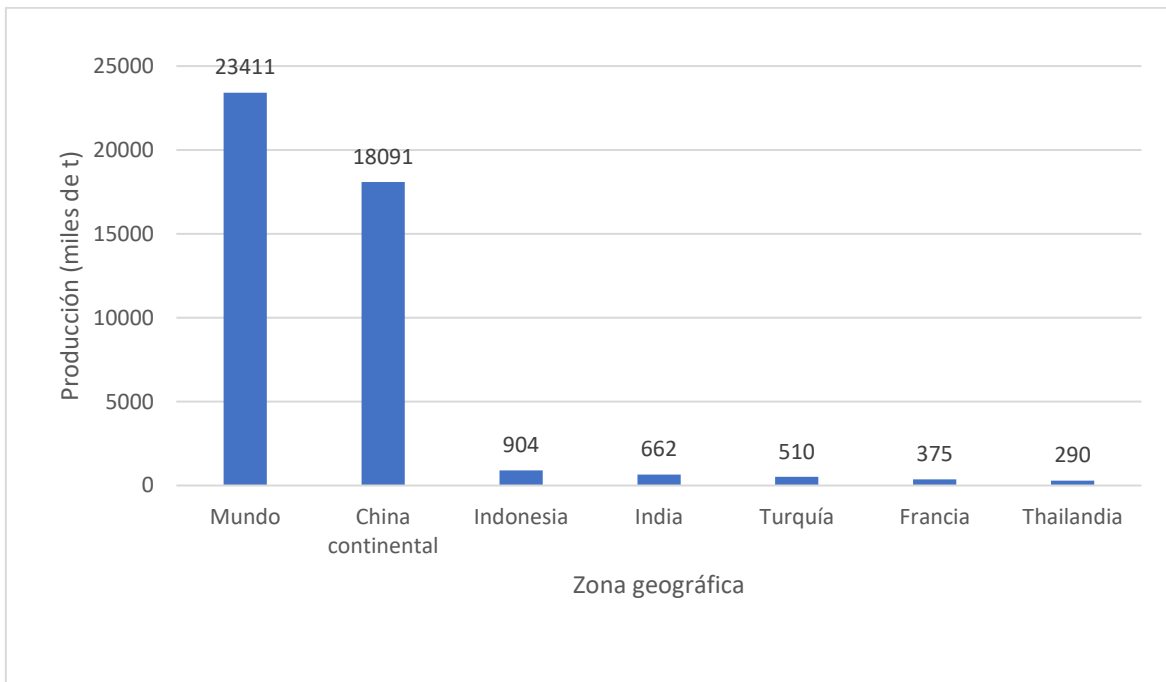


Figura 2.10. Producción (miles t) de judía verde y mayores productores en 2021. (Fuente: Food and Agriculture data, 2024).

La situación en España es bien diferente, con una disminución progresiva tanto en producción como en superficie de cultivo (figuras 2.11. y 2.12.) alcanzando sus mínimos en 2010 y 2018 con 140 miles de t.

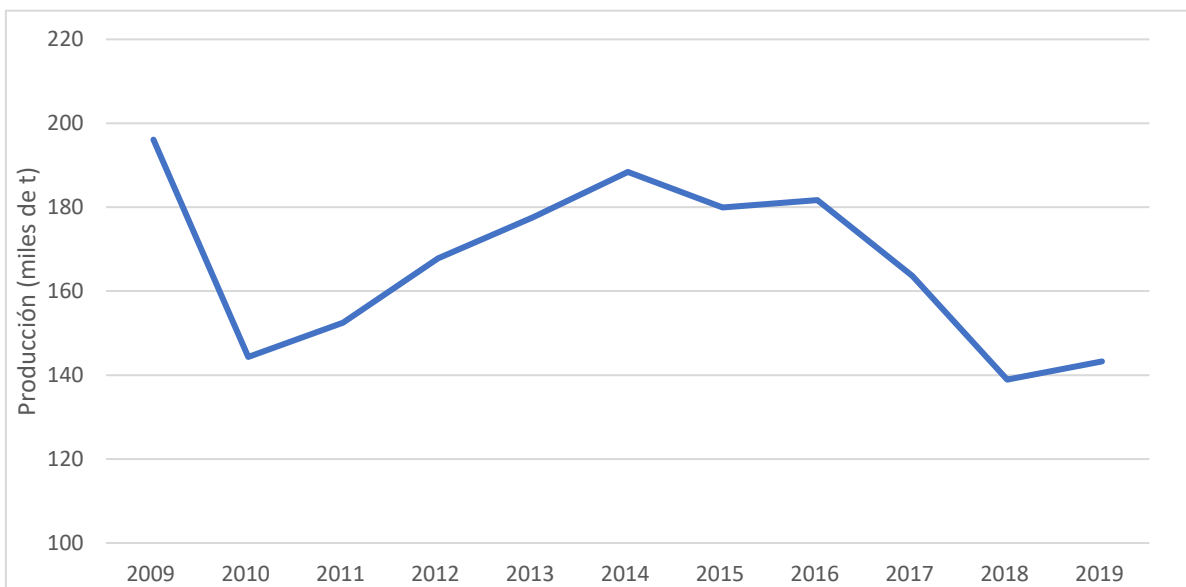


Figura 2.11. Producción (miles de t) de judía verde en España. (Fuente: Ministerio Agricultura, Pesca y Alimentación).

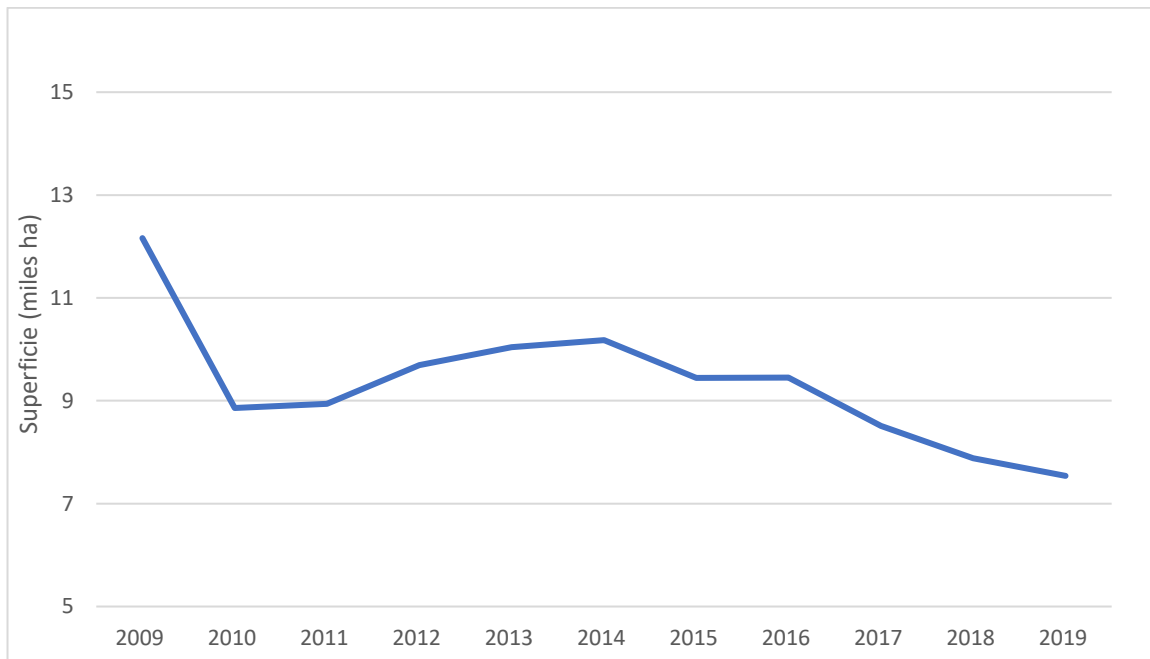


Figura 2.12. Superficie (miles de ha) de judía verde cultivada en España. (Fuente: Ministerio Agricultura, Pesca y Alimentación).

En Aragón en el año 2019 se cultivó una superficie de 252 ha que produjeron 3 400 t con un rendimiento de 13,5 t/ha, muy por debajo del de China (27,2 t/ha) pero superior al de Francia (12,5 t/ha).

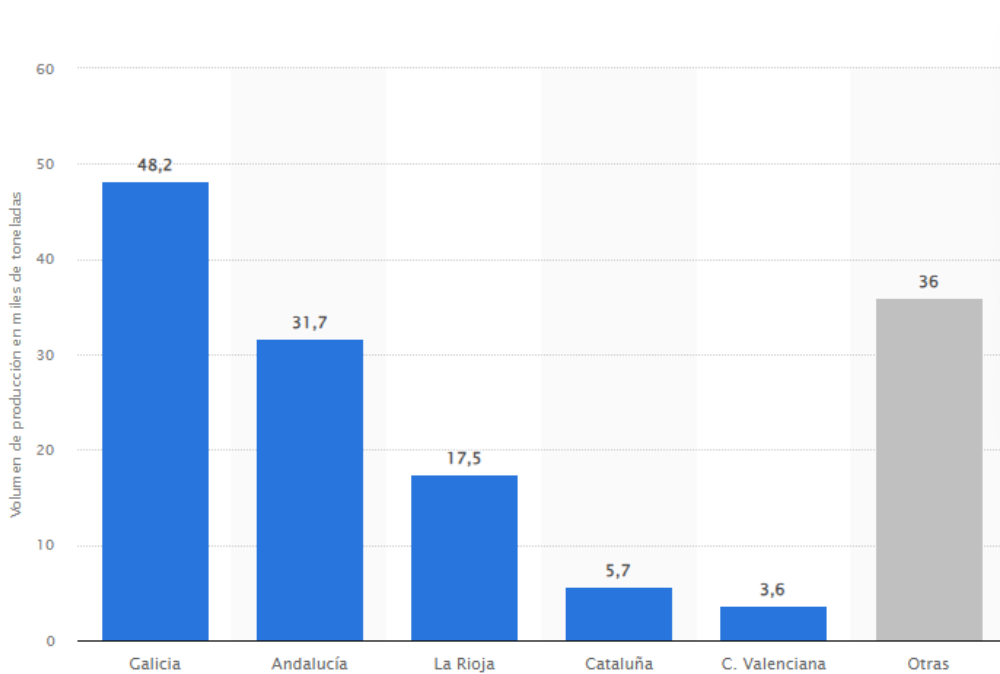


Figura 2.13. Producción de judía verde en España por comunidad autónoma (miles de t). (Fuente: Statista, 2024)

El cultivo en invernadero se realiza en Andalucía y Murcia en la estación fría y en Galicia en verano, con variedades como Garrafal Oro, Donna, Helda, Semilarga-Polar o lluro. El cultivo al aire libre suele tener como fin la industria tanto en congelado como apertizado, localizándose sobre todo en el valle del Ebro y del Duero, con variedades como BBL-274 y Contender (MAPA, s.f. y Reche-Marmol, 2005).

Las judías para consumo en verde se recolectan en una fase anterior a la madurez de sus semillas y en estado de vainas tiernas, pudiendo aprovecharse para el consumo directo en fresco (83%), así como en la industria conservera y de congelación (17%). (MAPA, s.f.).

En España el consumo en fresco de judías verdes va decreciendo de manera muy importante como muestra la figura 2.14.

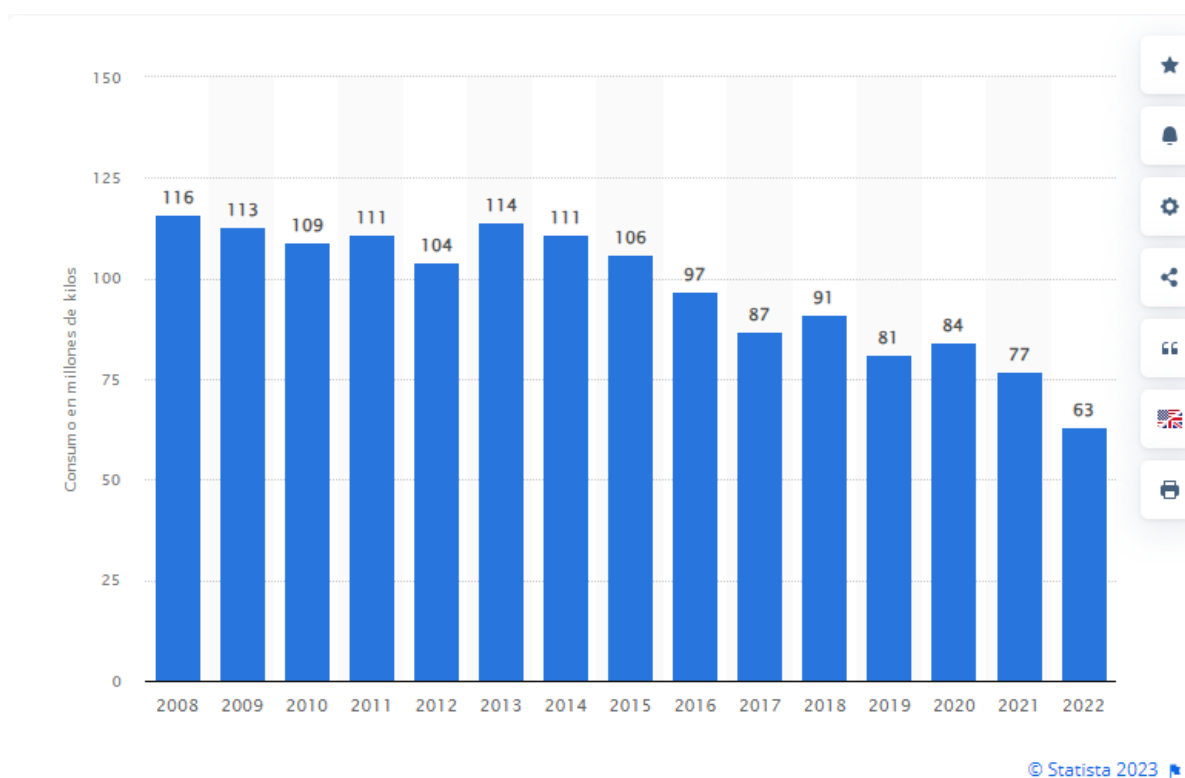


Figura 2.14. Consumo de judía verde fresca en España (Fuente: Statista, 2024)

Respecto a la producción de verduras ultracongeladas también se observa un notable descenso en su producción (figura 2.15) aunque no podemos determinar cómo afecta este descenso a la judía verde congelada.

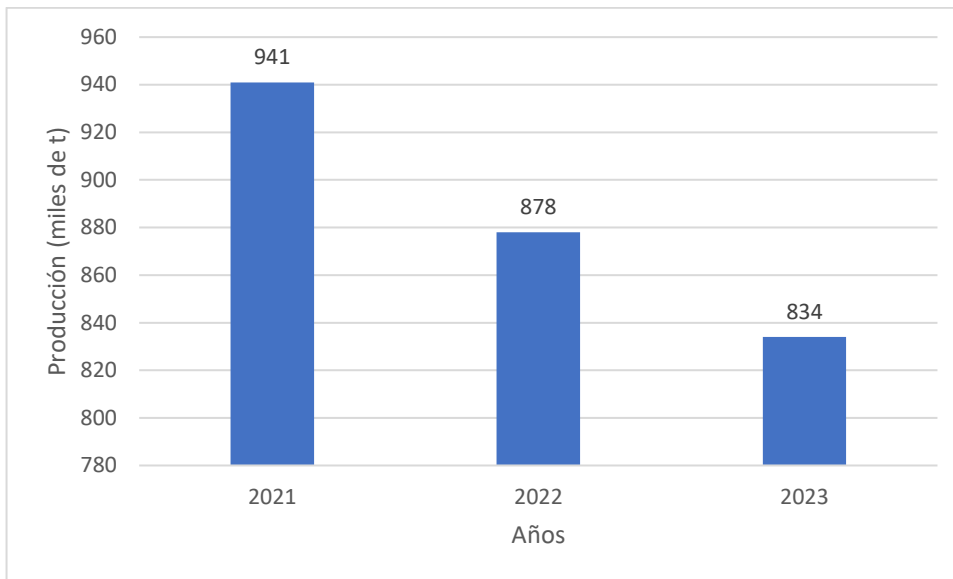


Figura 2.15. Producción (miles de t) de verduras ultracongeladas en España (Fuente de datos: Asociación Española de Fabricantes de Vegetales Congelados (ASEVEC), 2024), elaboración propia).

En España, las principales empresas de productos hortofrutícolas congelados son:

- Ardo: empresa familiar belga en expansión internacional, procesa verduras, hierbas y frutas frescas ultracongeladas con 17 plantas en 8 países, procesa 947 miles de t y una cifra de negocio de 1 400 M€. Con planta en Benimodo (Valencia).
- Grupo Viru: mayor productor peruano de frutas y verdura en conserva y congeladas, con plantas en Marcilla (Navarra) y Palmera (Valencia).
- Congelados de Navarra: líderes europeos en la fabricación y comercialización de verduras ultracongeladas, con preparados con base de verduras, enfocados a la hostelería, con plantas de procesado en Arguedas (Navarra), Fustiñana (Navarra), San Fulgencio (Alicante), Olmedo (Valladolid) y Alfaro (La Rioja).
- Congelados Pedaneo: empresa familiar, situada en Archena (Murcia) suministra frutas y verduras ultracongeladas a empresas transformadoras.
- Fruveco: empresa familiar, presente en cinco continentes, dedicados a producir y distribuir verduras ultracongeladas con plantas en El Raal y Alhama de Murcia (Murcia).
- Gelagri Ibérica: filial de la cooperativa Eureden (Francia) con fábrica en Santaella (Córdoba) y Milagro (Navarra).

- Grupo Virto: empresa líder y referente en la producción y distribución de vegetales ultracongelados con centros en Azagra, Cortés y Funes (Navarra), La Albuera (Badajoz), Santo Domingo de la Calzada (La Rioja), Sanchonuño (Segovia), Santomera y El Raal (Murcia), y con un centro logístico en Mallén (Zaragoza).
- TalFrost: empresa dedicada a la transformación completa de la gama de hortalizas frescas nacionales, situada en Albacete, Castilla la Mancha y Andalucía con 3000 ha de cultivos de regadío.

En Aragón están instaladas:

- *Originaria Foods* es la división agroalimentaria del Grupo SAMCA dedicada a la producción y elaboración de alimentos: verduras congeladas, pures, zumos y smoothies, fruta deshidratada, aceite de oliva y lácteos. Dentro del Grupo la empresa SAAR procesa y comercializa más de 20000 toneladas de ultracongelados y braseados de verdura. Presente en los cuatro continentes con una facturación de 25 M€ al año (40% nacional, 60% exportación). En Aragón, se producen solamente 3 400 t de judía verde que son insuficientes para abastecer a la demanda de fresco y congelado. Por tanto, la empresa debe comprar judía fuera de nuestra región, mayoritariamente a Francia, ya que es uno de los mayores productores y se encuentra relativamente próxima, y a Marruecos.
- *Grupo Virto*: produce y distribuye vegetales ultracongelados y tiene un centro de envasado y logística en Mallén (Zaragoza).

3. JUSTIFICACION Y OBJETIVOS

Este Trabajo Fin de Grado se enmarca en un proyecto más amplio “Adaptación del cultivo de judía verde, como alternativa de segunda cosecha, en la comarca de las Cinco Villas” (Programa de Desarrollo Rural para Aragón 2014-2022) que pretende evaluar las aptitudes para la congelación de variedades comerciales y autóctonas cultivadas en condiciones del campo aragonés (especialmente sometido al viento y con una baja humedad ambiental).

La zona de Cinco Villas es una zona con un alto potencial agronómico, donde generalmente, después de cosechar el cereal de invierno o guisante se efectúa un segundo cultivo, habitualmente maíz, pero también existe la posibilidad, poco explorada, de cultivar judía verde.

Según datos del año 2019 de la FAO, en España se importaron 119 411 toneladas de judías verdes y se exportaron 22 627 toneladas. A nivel mundial, la producción y superficie de judía verde se ha cuadruplicado en los últimos 25 años. En cambio, en España ha disminuido de modo que las 33 000 toneladas de judía verde para industria cultivadas en España no son suficientes para proveer a las industrias de congelados y conservas.

El estudio del cultivo de la judía verde reforzaría los cultivos de leguminosas en Cinco Villas, con los consecuentes beneficios para la estructura del suelo agrícola, reducción de la huella hídrica y reducción de inputs fertilizantes respecto a otros cultivos alternativos como el maíz.

En este proyecto colaboran:

SAAR: empresa perteneciente al Grupo SAMCA. Procesa y comercializa más de 20 000 toneladas de ultracongelados y braseados de verdura, con pleno control de calidad y trazabilidad desde el cultivo a su venta. Presente en los cuatro continentes con una facturación de 25 M€ al año, 40% nacional, 60% exportación.

Sociedad Cooperativa Agraria Virgen de la Oliva: nacida en 1943 con 80 socios, representa a más de 2 500 agricultores, siendo una de las cooperativas españolas más importantes en producción de cereales y forrajes, con una facturación de 65 M€ al año y comercializa más de 200 000 t de materias primas al año.

Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA): Es un organismo público adscrito al Departamento de Agricultura, Ganadería y Alimentación del Gobierno de Aragón. En el CITA se encuentra el Banco de Germoplasma Hortícola (BGHZ-

CITA) se creó en el año 1981 con un objetivo prioritario: la conservación de los recursos genéticos hortícolas de España para evitar la pérdida de variabilidad intraespecífica, causada principalmente por la sustitución de muchas de las antiguas variedades locales por variedades mejoradas, más uniformes, pero con una base genética más restringida. En el proyecto aporta las variedades de judía verde autóctonas.

Universidad de Zaragoza (UNIZAR) representado por el Grupo de Investigación en Alimentos de Origen Vegetal (GIAOVE). Es una referencia en agronomía, postcosecha, transformación y procesado de frutas, hortalizas, trufas, cereales y otros productos vegetales. Las principales líneas de trabajo son: Alternativas sostenibles en cultivo y sostenibilidad económica y social, aplicación de tecnologías 4.0 en pre y postcosecha, tecnología postcosecha y desarrollo de nuevos productos y el desarrollo tecnológico de nuevos biomateriales y procesos. Su papel en el proyecto es la de evaluar la calidad comercial, físico-química y sensorial y la aptitud para la congelación de las distintas variedades de judía verde.

La determinación de las variedades óptimas a producir en la comarca de las Cinco Villas, con destino a la congelación, ayudaría en la resolución de los siguientes problemas:

- reducción de consumo de fertilizantes y agua en la sustitución del maíz por la judía verde en la segunda cosecha, así como una mayor fijación de CO₂, y una mejora en la estructura del suelo.

- reducción de los costes logísticos del transporte al producir en local, reduciendo con ello las emisiones de CO₂.

- mejorar el rendimiento económico tanto para la empresa de congelación como para los agricultores de la zona, ayudando al desarrollo de la zona rural y a fijar la población.

Este trabajo contribuye a los **objetivos de desarrollo** sostenible siguientes:

Objetivo 2. Hambre cero

Meta 2.4 ***asegurar la sostenibilidad de los sistemas de producción de alimentos y aplicar prácticas agrícolas resilientes que aumenten la productividad y la producción, contribuyan al mantenimiento de los ecosistemas, fortalezcan la capacidad de adaptación al cambio climático, los fenómenos meteorológicos extremos, las sequías, las inundaciones y otros desastres, y mejoren progresivamente la calidad del suelo y la tierra.***

El cultivo de judía verde tiene un menor consumo de agua y nitrógeno que otras alternativas de cultivo como el maíz, habitualmente empleadas en la zona de las Cinco Villas. Además, al ser una leguminosa, contribuirá a la mejora de la estructura del suelo.

Meta 2.5 ***mantener la diversidad genética de las semillas, las plantas cultivadas y los animales de granja y domesticados y sus especies silvestres conexas, entre otras cosas mediante una buena gestión y diversificación de los bancos de semillas y plantas a nivel nacional, regional e internacional, y promover el acceso a los beneficios que se deriven de la utilización de los recursos genéticos y los conocimientos tradicionales y su distribución justa y equitativa, como se ha convenido internacionalmente.***

En el proyecto se testará la aptitud de variedades de judía del Banco de Germoplasma Hortícola del CITA.

Objetivo 8. Trabajo decente y crecimiento económico

Meta 8.4 *Mejorar progresivamente, de aquí a 2030, la producción y el consumo eficientes de los recursos mundiales y procurar desvincular el crecimiento económico de la degradación del medio ambiente, conforme al Marco Decenal de Programas sobre modalidades de Consumo y Producción Sostenibles, empezando por los países desarrollados.*

El cultivo de judía verde en zonas próximas a la empresa de transformación Saar permitirá reducir las emisiones de CO₂ provocadas por el transporte de judías provenientes de terceros países.

Además, contribuirá a mejorar el rendimiento económico tanto para la empresa de congelación como para los agricultores de la zona, ayudando al desarrollo de la zona rural y a fijar la población.

Objetivo 12. Producción y consumo responsable

Meta12.2 *De aquí a 2030, lograr la gestión sostenible y el uso eficiente de los recursos naturales.*

Globalmente el proyecto busca la eficiencia tanto en el cultivo de judía verde como en su transformación industrial al determinar las variedades que mejor se adapten a las condiciones edafoclimáticas de la zona y al procesado industrial.

Finalmente, el objetivo concreto de este trabajo es caracterizar la calidad de las diferentes variedades de judía verde en la cosecha y tras su congelación para poder así

determinar las variedades más adaptadas a su cultivo y comercialización como judía verde congelada.

Para ello se determinarán sus caracteres morfológicos (peso, anchura, longitud de las vainas y sección), la apariencia visual (curvatura, posición de pico, presencia de roces), los parámetros físico-químicos como firmeza, color, contenido en clorofila y parámetros nutricionales como el contenido en vitamina C y los fenoles totales.

Se evaluará la influencia en estos aspectos de los siguientes procesos industriales:

Escaldado.

Congelación por aire estático (congelación lenta).

Congelación por aire forzado (congelación rápida).

Congelación criogénica (congelación ultrarrápida).

Mantenimiento durante 6 meses a -18 °C.

Cocinado.

Determinando así, junto a los datos agronómicos, que variedades son las óptimas para la congelación.

4. MATERIAL VEGETAL Y DESARROLLO EXPERIMENTAL

4.1. Material vegetal

Las variedades de judía verde se sembraron entre el 3 y 4 de agosto de 2023 en una parcela agrícola de 11 ha regada por aspersión, situada en Tauste, en el Polígono 24-Parcela 175. En dicha parcela se sembraron 8 variedades según las bandas configuradas por el marco de la cobertura de aspersión (figura 4.1).

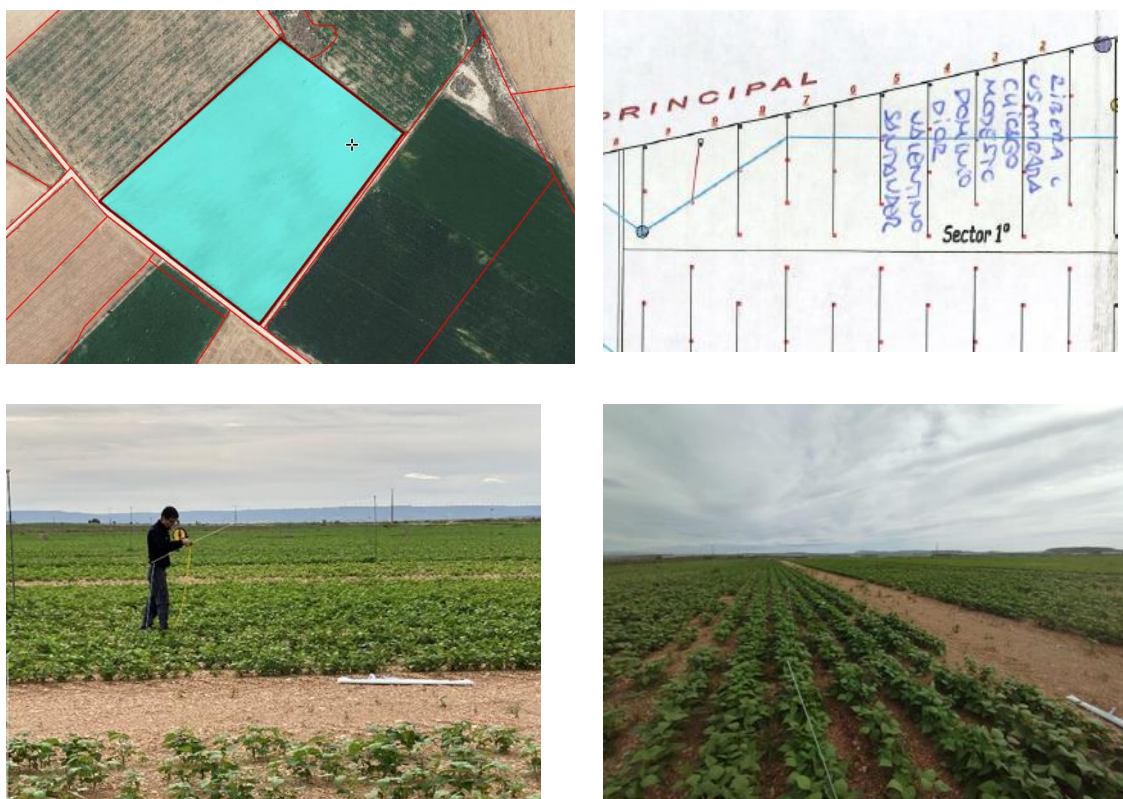


Figura 4.1. Parcela de ensayo de variedades de judías comerciales en Tauste, croquis de la distribución en la parcela (arriba) y cultivo de las mismas (abajo). (Fuente: CITA)

Las variedades sembradas fueron seleccionadas en base a los resultados obtenidos en la campaña 2022 y fueron las siguientes (figura 4.2.)

Usambara: variedad de judía verde plana, de ciclo medio-tardío, con muy altos rendimientos, junto con calidad de sus vainas por longitud 16-17 cm, 18 mm de ancho y color verde intenso. Desarrollo de semillas lento. Planta pequeña, porte muy erecto, muy sana. Buen cuaje con calor y excelente con bajas temperaturas. Resistente al virus del mosaico de la judía y a *Pseudomonas syringae* (Vegetales by Bayer, 2024).

Modesto (antes Wilson): variedad de judía verde redonda, de maduración semi-precoz, con altos rendimientos, vainas de 14-16 cm de longitud, 6 a 9 mm de diámetro y color verde medio oscuro, y muy uniformes. Semilla Blanca. Planta de 55 cm de altura. Apta para cultivo al aire libre como invernadero para verdeo. Alta resistencia a la Antracnosis y Virus del Mosaico (Mascarell semillas).

Dominio: variedad de judía verde redonda, ciclo de cultivo 72-73 días, muy productiva, vainas de 12-13 cm, delgadas y color verde. Plantas que alcanzan los 50 cm de altura (no necesitan tutor). Adecuada para la recogida mecánica (Semillas vivas).

Dior: Variedad de judía verde redonda, cosecha temprana, muy productiva. Vainas de tamaño uniforme y color amarillo en el exterior del follaje lo que facilita la cosecha (Semillas vivas).

Valentino: Variedad de judía verde redonda, madurez de mitad de temporada 56 días, potencial de rendimiento muy alto. Vainas de 13 a 15 cm de largo, 10 mm de diámetro de un verde muy oscuro, que se mantienen firmes durante mucho tiempo. Planta de 54-58 cm, arbusto corto. Tolerante al calor, capaz de fijar las vainas bajo estrés por calor y sequía. Excelente combinación de rendimiento y desempeño en condiciones de estrés. Adaptada a recolección mecanizada. Judía verde de mercado fresco Siembra en primavera/verano y cosecha en verano/otoño. Alta resistencia al virus del mosaico de la judía y resistencia media a roya (Vegetales by Bayer, 2024).

Santander: Variedad de judía verde redonda, precoz, con alto potencial de rendimiento. Vainas de 11 cm de largo y 9 a 10,5 mm de diámetro, verde medio, carnosa, recta, con pocas constricciones. Planta compacta, poco voluminosa y de fácil recolección. Resistente a *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli*, al virus del mosaico de la judía y a *Colletotrichum lindemuthianun* (Vilmorin 2021).



Figura 4.2. Variedades de judía verde cultivadas en la campaña 2023, vaina entera (arriba) y corte transversal (abajo)

Las judías fueron recolectadas el 23 de octubre, con un ciclo de cultivo de 80 días, trasladándose de forma inmediata a la Planta Piloto de la Facultad de Veterinaria (Zaragoza) dónde se llevó a cabo su caracterización inicial y el proceso de congelación.

Uno de los objetivos del proyecto en el que se enmarca este trabajo fue determinar la adaptación de diversas variedades de judía verde como segunda cosecha en la Comarca de las Cinco Villas. En la campaña de 2022 las flores no fructificaron por lo que no se obtuvo cosecha para ninguna de las variedades sembradas.

Con el objetivo de analizar brevemente la influencia del clima en el desarrollo del cultivo se representa el ciclo vegetativo de la judía verde (figura 4.3.), las temperaturas diarias máximas y mínimas, la humedad relativa media y la velocidad del viento durante las campañas de 2022 y 2023 (Sistema de Información Agroclimática para el Regadío (SIAR), 2024), así como las óptimas para el cultivo (figura 4.4.). En ambas figuras se observa claramente los días en que el cultivo está fuera de las zonas óptimas para su crecimiento y la fructificación-floración.

Aunque la parcela de estudio se encuentra en el término municipal de Tauste, tanto por similitud geográfica como por mayor cercanía, los datos climatológicos que se presentan a continuación corresponden a la estación climatológica sita en el término municipal de Ejea de los Caballeros.

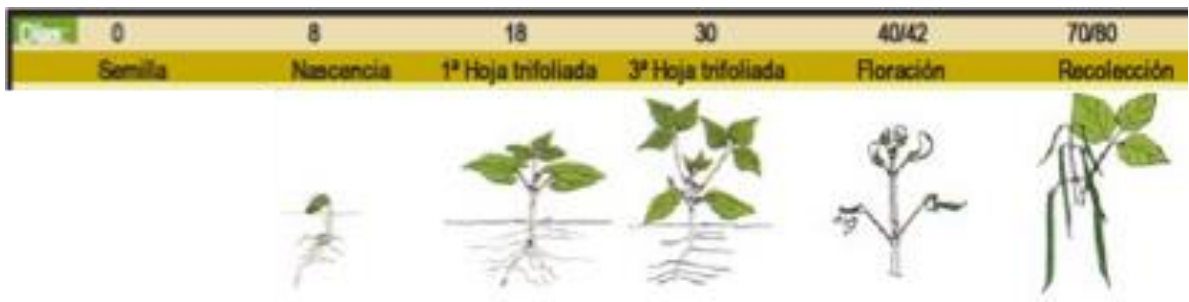


Figura 4.3. Crecimiento vegetativo de la judía verde (MAPA, s.f.)

En la figura 4.4. las líneas azules que representan la campaña de 2023, se mantienen en mayor medida dentro de la zona óptima para el crecimiento vegetativo, mientras que la campaña 2022 están fuera de este rango en mayor medida, lo que justificaría que en la campaña 2022 no se pudieran recolectar las diferentes variedades. Durante el periodo de floración-fructificación se observa que la campaña del 2023 tanto las máximas como las mínimas están fuera de la zona óptima en gran medida, lo que podría justificar que la producción obtenida este por debajo de la media en Aragón.

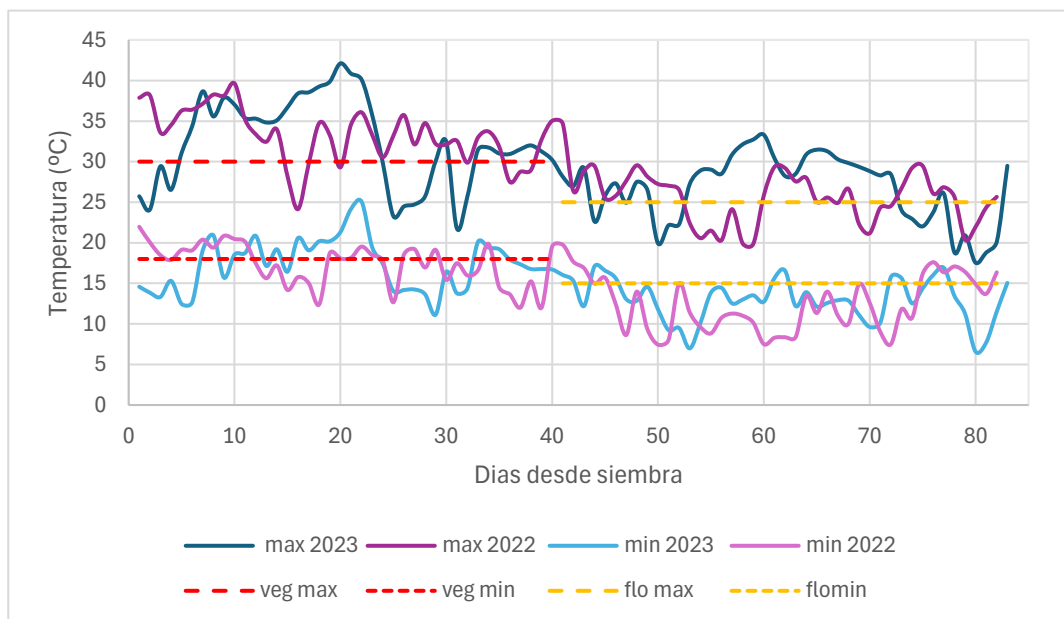


Figura 4.4. Temperaturas máximas y mínimas (°C) en Ejea de los Caballeros durante el ciclo vegetativo en las campañas 2023 (azules) y 2022 (violetas) y temperaturas máximas y mínimas para crecimiento vegetativo óptimo (rojo) y floración y fructificación óptima (naranja). (Fuente: SIAR), elaboración propia.

Respecto a la humedad relativa (figura 4.5), los primeros 25 días fue inferior a la óptima en ambas campañas, mientras que en el resto del ciclo vegetativo se mantuvo, en general, dentro de la zona óptima.

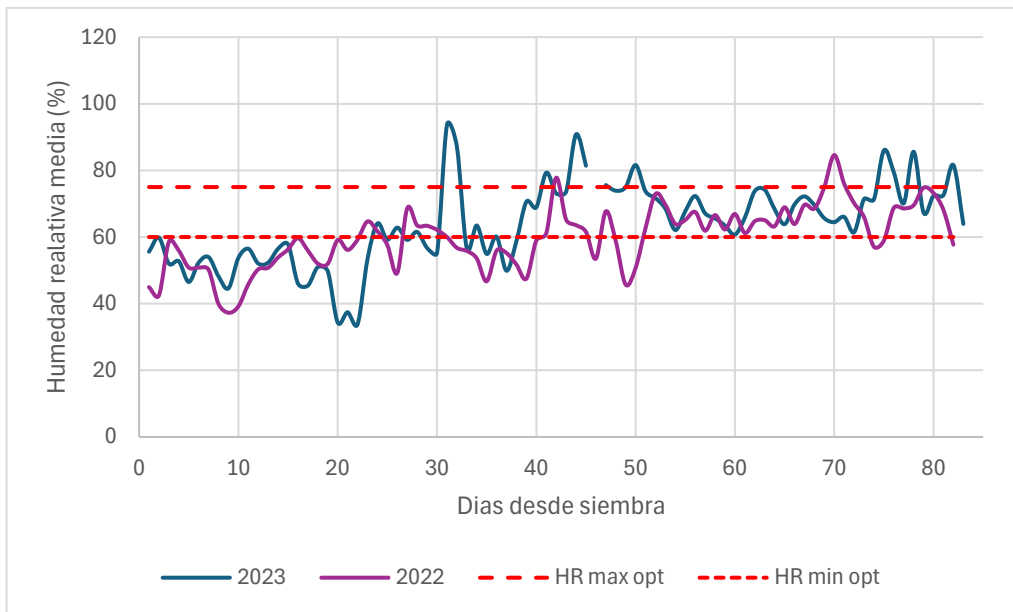


Figura 4.5. Humedad relativa media (%) en Ejea de los Caballeros durante el ciclo vegetativo en las campañas 2023 (azul) y 2022 (violeta) y humedad relativa máximas y mínimas para periodo vegetativo óptimo (rojo). (Fuente: SIAR), elaboración propia.

En la figura 4.6 se muestran las precipitaciones en Ejea de los Caballeros (mm) durante las campañas 2022 y 2023. La media de precipitaciones en 2023 fue de 1,9 mm/día mientras que en 2022 fue tan sólo de 0,7 mm/día.

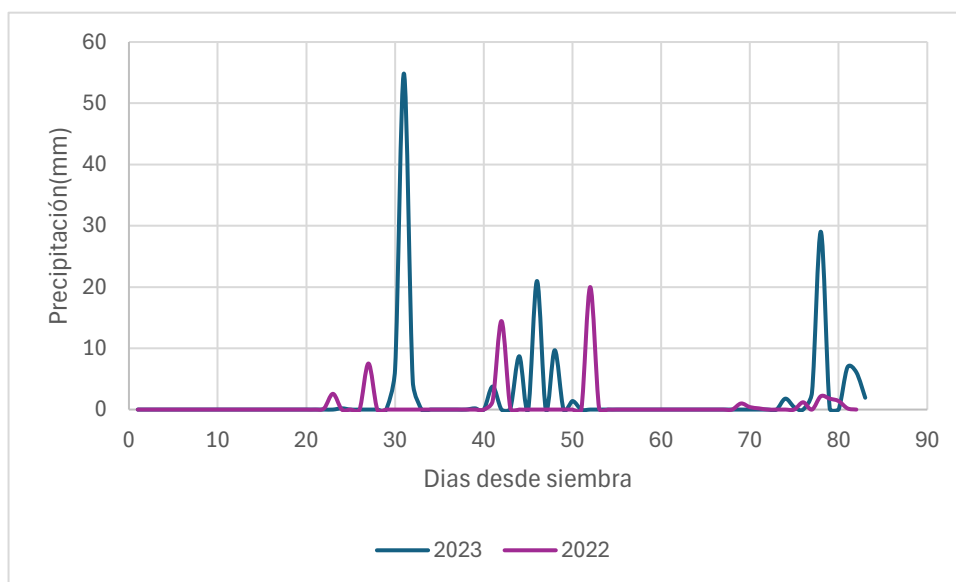


Figura 4.6. Precipitaciones (mm) en Ejea de los Caballeros durante el ciclo vegetativo en las campañas 2023 (azul) y 2022 (violeta). (Fuente: SIAR), elaboración propia.

Las escasas precipitaciones, no fueron óptimas en su distribución en el 2023, ya que ocurrieron entre el día 40 y 50 cuando se aconseja provocar stress dejando de regar de 5 a 7 días al inicio de la floración (Rodríguez-Eguílaz,2007). El resto de la campaña la ausencia de lluvia se compensó mediante el riego por aspersión.

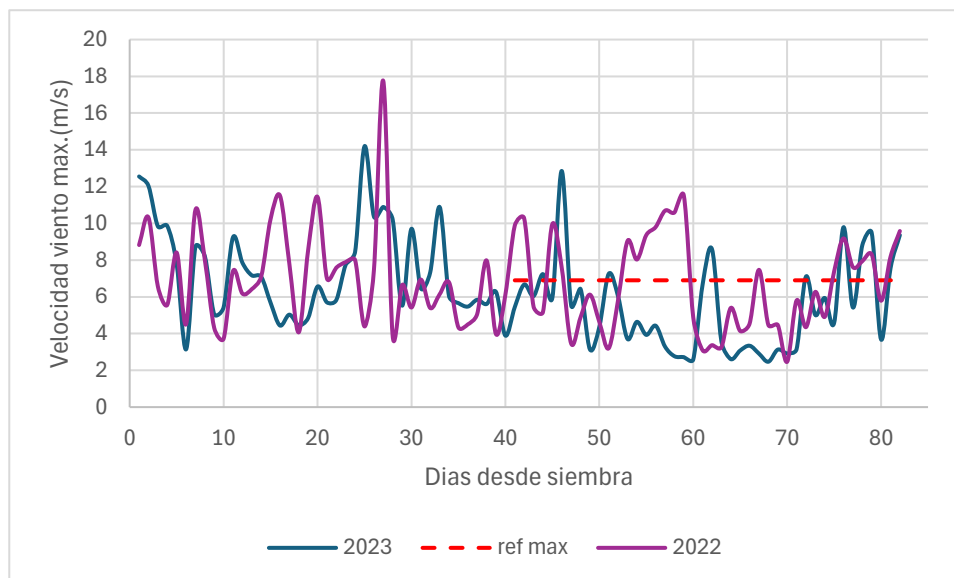


Figura 4.7. Velocidad máxima del viento (m/s) en Ejea de los Caballeros durante el ciclo vegetativo en las campañas 2023 (azul) y 2022 (violeta). (Fuente: SIAR), elaboración propia.

La judía verde es muy sensible a las rozaduras del viento, produce el secado de los bordes de la hoja, y en las vainas, siendo la época más sensible después del cuajado hasta los 6-8 cm, produciendo manchas en las vainas, acortamiento de estas, vainas torcidas, etc. Velocidades de viento superiores a 6,9 m/s tienen impacto en los roces, durante la campaña 2023, sólo unos pocos días se superó esta velocidad, lo que ha permitido que los roces no sean relevantes.

Las temperaturas por encima de las óptimas y las precipitaciones al inicio de la floración pueden justificar un rendimiento inferior a la producción media en Aragón en 2023.

4.2. Desarrollo experimental

Las judías verdes se mantuvieron en cámara frigorífica a 4 °C hasta su análisis y procesado el 24 de octubre.

Primero, 100 frutos de cada variedad fueron evaluados para la determinación de la presencia de roces y otras alteraciones y 25 para su caracterización morfológica (longitud, diámetros, curvatura y posición del pico) (ver apartado 5.2).

50 frutos fueron destinados a la evaluación del color y la firmeza ((ver apartados 5.3 y 5.4) y por último 100 g se congelaron con nitrógeno líquido y se conservaron a. – 20 °C, para la posterior determinación de clorofilas, fenoles, actividad antioxidante y vitamina C ((ver apartados 5.5, 5.6, 5.7, 5.8 respectivamente).

A continuación, el resto de vainas se derivaron al proceso de congelación. Para ello, se siguieron los siguientes pasos resumidos también en la figura 4.11:

- **Selección:** se procedió a la eliminación de frutos dañados o con alteraciones
- **Lavado, desinfección y aclarado:** estas 3 etapas se realizaron en la lavadora de vegetales SOLIA modelo SWA 75E con depósito de agua para 70 l. Para la desinfección se empleó agua clorada (100 ppm de hipoclorito sódico de uso alimentario).
- **Despuntado y cortado:** las judías fueron despuntadas y cortadas manualmente en trozos de aproximadamente 2,5-3 cm.
- **Escaldado** por inmersión en agua a 95 °C durante 1,5 min en el cocedero BOPAS modelo HD900 con capacidad de 45 l con calentamiento indirecto del agua.

En cada variedad se determinó el color y la firmeza tras escaldado y se tomaron 100 g para su análisis posterior que fueron conservados a -20 °C tras congelación criogénica.

- **Escurrido y enfriado** por inmersión en hielo (enfriamiento rápido).
- **Secado.**
- **Congelación:** una vez enfriadas hasta aproximadamente 1-3 °C las judías de cada variedad se dividieron en 3 lotes de 300-350 g para su congelación lenta, rápida o ultrarrápida:
 - o **Congelación lenta:** en cámara a -20 °C con aire estático.
 - o **Congelación rápida:** en túnel de congelación por aire forzado a -24 °C (modelo ITA 100-SYEH (Tarré S.A (Navarra)).
 - o **Congelación ultrarrápida:** en nitrógeno líquido.

Para determinar la **velocidad de congelación** en los procesos de congelación lenta y rápida se dispusieron sondas de temperatura de punción en el material vegetal. La adquisición de datos se llevó a cabo con el programa Data Control 4.3 32-Bit.

En el caso de la congelación rápida se monitorearon todas las variedades mientras que en la congelación lenta se midió en la variedad plana Usambara y en la variedad redonda Modesto.

En la congelación en **túnel de aire forzado** se introdujo $-24\text{ }^{\circ}\text{C}$ como temperatura de consigna. Una vez alcanzada la temperatura de consigna se introdujeron 500 g de judía en el túnel colocando la sonda de medición en el centro de una judía de la muestra a congelar.

En la figura 4.8, se muestra la curva de evolución de la temperatura durante el proceso de congelación.

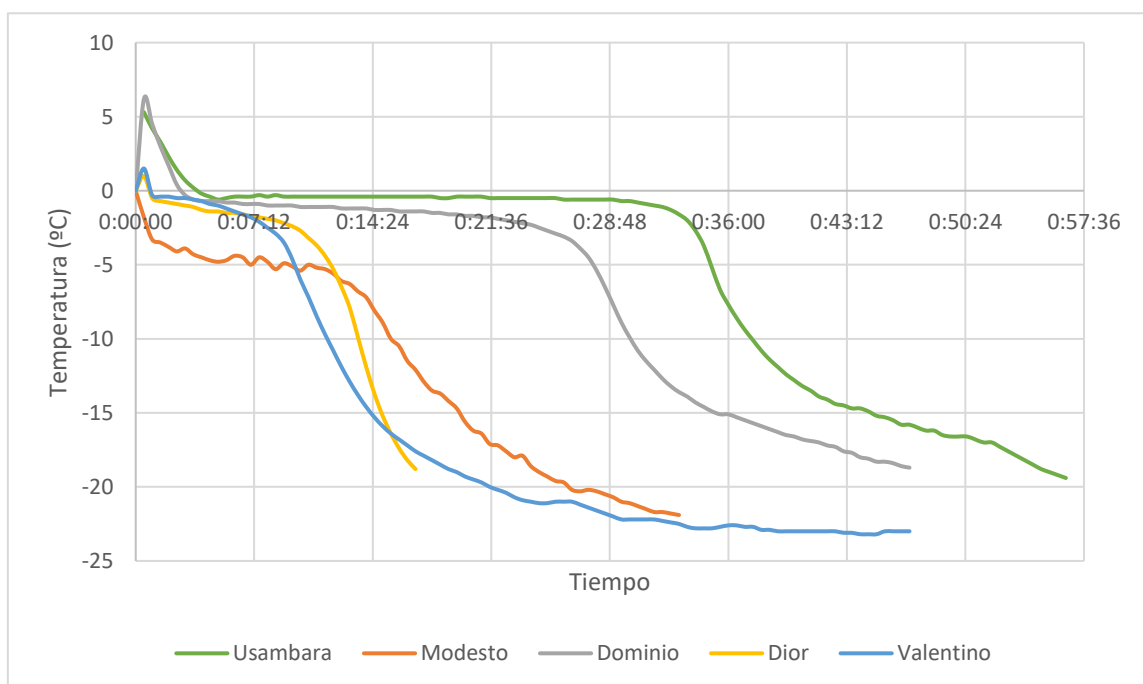


Figura 4.8. Curva de congelación ($^{\circ}\text{C}$) de las distintas variedades de judía verde durante la congelación en túnel de aire forzado (congelación rápida). Elaboración propia.

En la tabla 4.1 se muestra la velocidad de congelación para las diferentes variedades que oscila entre $0,07\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ para Usambara, $0,09$ para Dominio, $0,2$ para Dior, $0,28$ para Valentino y $3,60\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ para Modesto. La mayor velocidad de congelación de Modesto en el rango de 0 a $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ se podría deber a una entrada en el túnel a una temperatura en torno a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ alcanzada en el enfriamiento rápido tras el escaldado. Recordar que este rango es uno de los que más influye en la calidad final del producto ya que es en el que se forman la mayor cantidad de núcleos de cristalización para la posterior formación y crecimiento de cristales de hielo. Cuanto más rápido sea el paso por esta zona

mayor número de núcleos se formarán y por tanto mayor número de cristales de menor tamaño y forma redondeada, lo que minimizará la rotura celular.

Tanto estas diferencias como las que se detectan en los siguientes tramos pueden deberse a la disminución de la velocidad de trabajo del compresor cuando llega a la temperatura programada. Estos ciclos fueron distintos para las distintas variedades ya que se congelaron separadamente por el pequeño tamaño del túnel.

Tabla 4.1. Velocidad de congelación en túnel (°C/min) entre diferentes rangos de temperatura, para las diferentes variedades de judía verde.

Rango temperatura (°C)	Usambara	Modesto	Dominio	Dior	Valentino
0... -2	0,07	3,60	0,09	0,20	0,28
-2...-5	0,47	0,49	0,62	0,94	1,25
-5...-10	1,99	0,59	2,25	3,07	2,55
-10...-15	0,74	1,18	1,00	5,53	1,87
-15...-20	0,37	0,79	0,32	1,80	0,67

En la tabla 4.2 se muestran los parámetros del proceso de congelación. Respecto al tiempo total hasta alcanzar los -18 °C, Usambara y Dominio fueron las que mayor tiempo necesitaron para alcanzar dicha temperatura con 50 y 41 min, respectivamente siendo Dior y Valentino las que más rápido llegaron con 13 y 17 min, respectivamente.

Tabla 4.2. Parámetros de congelación de las distintas variedades de judía verde.

	Usambara	Modesto	Dominio	Dior	Valentino
Temperatura congelación (°C)	-0,4	-4,7	-1,2	-1,3	-0.6
Tiempo congelación (mm:ss)	24:00	8:30	17:30	7:00	4:00
Tiempo hasta -18 °C (mm:ss)	49:40	23:34	41:15	13:38	17:40

En la congelación **en cámara** de aire estático (lenta) se colocó una sonda de temperatura en el centro de una judía de la muestra a congelar (figura 4.9.) y se introdujo en la cámara a -20 °C. La programación del tiempo para el registro fue corta por lo que no se pudo registrar la parte final del proceso de congelación llegando sólo hasta los -6 °C.



Figura 4.9. Muestra de judía Usambara tras el escaldado para su congelación en cámara.

En la figura 4.10 se muestra la evolución de la temperatura en la cámara de congelación para las 2 variedades de judía verde monitoreadas, Modesto y Usambara.

En este caso, el paso por la zona crítica (0 a -2 °C) fue lento para ambas variedades, 0,02 °C/min para Usambara (frente a los 0,07 °C/min en la congelación rápida) y 0,01 °C/min para Modesto (3,6 °C/min en congelación rápida).

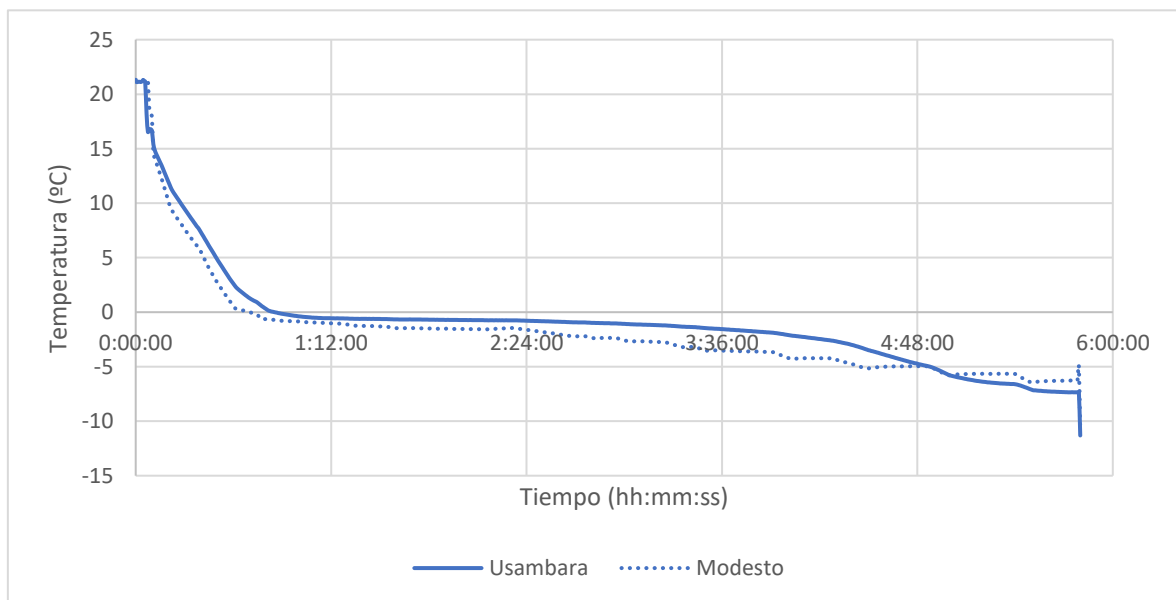


Figura 4.10. Curvas de congelación de judía verde en cámara de aire estático (congelación lenta). Elaboración propia.

Tabla 4.3. Velocidad de congelación en cámara (°C/min) entre 0 y -5 °C.

Rango temperatura (°C)	Usambara	Modesto
0... -2	0,02	0,01
-2...-5	0,03	0,05

Así, el tiempo total para alcanzar -6 °C fue de 4 h 12 min para la variedad Usambara y de 4 h 44 min para la variedad Modesto.

Una vez congeladas las muestras se mantuvieron a -20 °C hasta su análisis tras 6 meses de mantenimiento en congelación. Las muestras fueron analizadas tras su descongelación (24 h a 4 °C). Tras ello, de las 6 variedades estudiadas se seleccionaron 4 para ser evaluadas sensorial y físico-químicamente tras un proceso de cocción a 100 °C durante 10 min. En la figura 4.11 se resume el desarrollo experimental y se detallan en cuadros rojos los momentos de toma de muestras para su análisis.

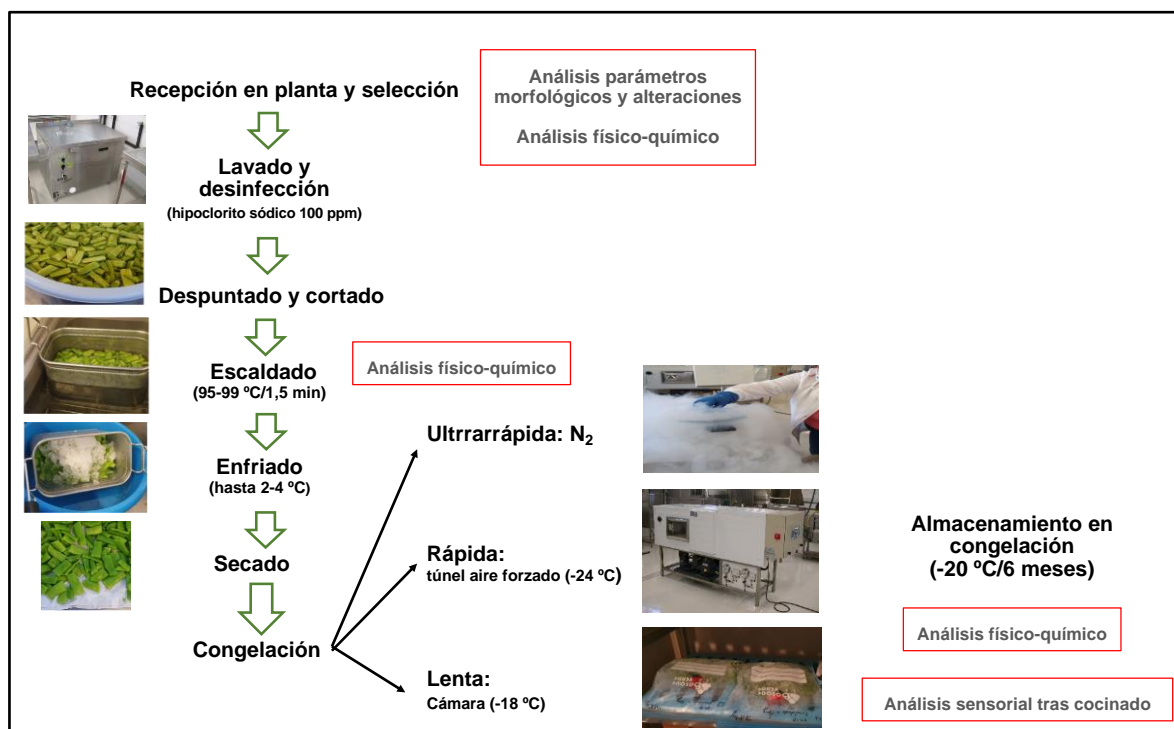


Figura 4.11. Diagrama del desarrollo experimental en Planta Piloto con detalle de los momentos de análisis (enmarcados en cuadros rojos).

5. MÉTODOS

5.1. Parámetros agronómicos

En los muestreos de cosecha se recogieron tres puntos de muestreo por cada una de las variedades, cada uno de ellos compuesto por todas las plantas de tres metros lineales repartidos en cada una de las bandas de las distintas variedades.

Se anotó el número de plantas y posteriormente se desvainaron, separando las siguientes fracciones: vainas con un diámetro menor de 7,5 mm, y vainas con un diámetro mayor de 7,5 mm (especificación de calidad indicada por la empresa SAAR).

Con estos datos se obtuvieron una serie de indicadores como: número de plantas / m² en cosecha; número de vainas / m² en cosecha; número de vainas, peso y rendimiento por superficie de las fracciones de vainas menores y mayores de 7,5 mm. Con estos índices se pudo valorar de forma general el comportamiento agronómico de cada variedad: la precocidad y agrupación de la maduración, y el rendimiento agronómico.

Así mismo se realizaron fotos de 5 plantas de cada uno de los puntos de muestreo, para determinar el porte de la planta y la presencia indeseada de zarcillos.

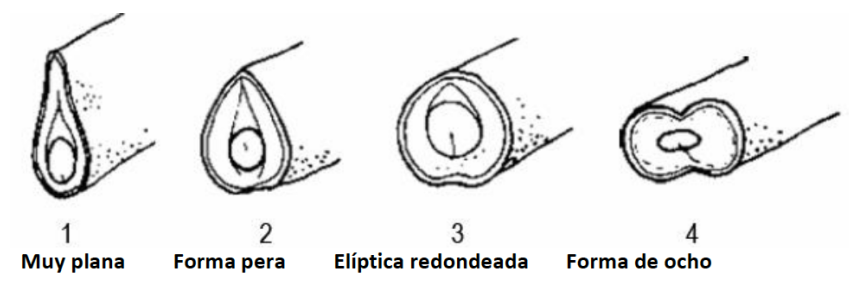
Además de estos muestreos, se cosecharon judías de forma manual para un segundo muestreo de 3 kg de vainas para su evaluación morfológica y procesado.

5.2. Evaluación morfológica y presencia de alteraciones

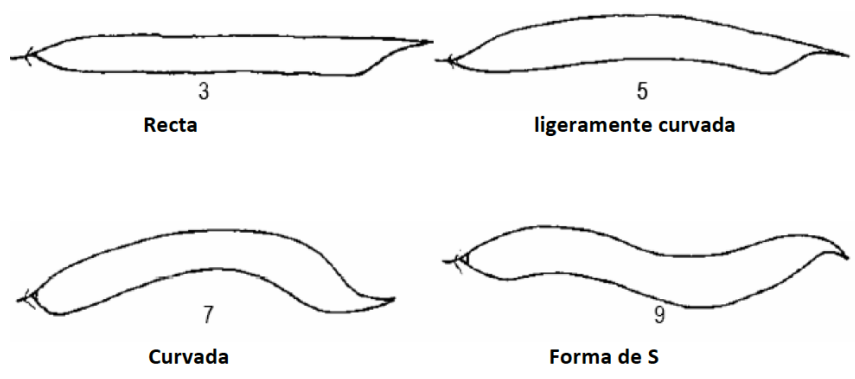
Para la evaluación morfológica se selecciona una muestra al azar de las diferentes variedades destinando 25 judías para el estudio morfológico y 100 para el estudio de la apariencia visual y la presencia de roces e impacto del taladro.

En la caracterización morfológica se evaluaron la longitud y anchura con un calibre digital, el peso de 25 vainas con balanza (Sartorius BL 600) y las características de la sección transversal (muy plana (1), forma de pera (2), elíptica redondeada (3) y forma de ocho (4)), la curvatura de la vaina (recta (3), ligeramente curvada (5), curvada (7) y forma de S (9)) y la posición del pico (marginal (1) y no marginal (2)) según la ficha de evaluación de variedades de judía del Banco de Germoplasma del CITA (Centro de Investigación y Transferencia Agroalimentaria de Aragón) (figura 5.1)

Sección transversal



Curvatura vaina



Posición del pico



Figura 5.1. Ficha de evaluación morfológica de variedades de judía verde (Mallor-Giménez, 2016)

Los roces se evalúan en 4 categorías, 1: no presencia de roces, 2: leve (< 25% de la superficie afectada), 3: moderada (25-50 % de la superficie afectada y con roces de mayor profundidad y mayor coloración) y 4: intensa (> 50 % de la superficie afectada con roces de mayor intensidad) (figura 5.2).

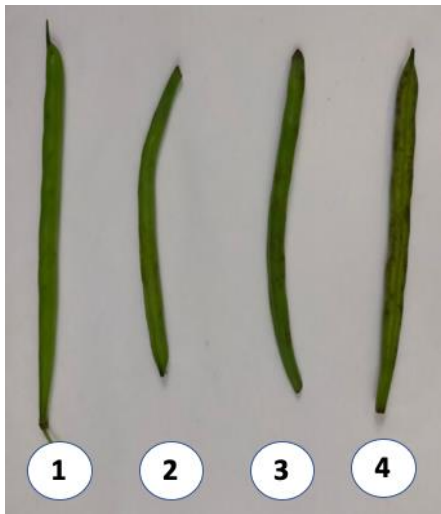


Figura 5.2. Escala de roces en judía verde. 1: no presencia de roces, 2: leve < 25 % de la superficie, 3: moderada 25-50 % de la superficie afectada y con roces de mayor profundidad y coloración y 4: intensa > 50 % de la superficie afectada con roces de mayor intensidad.

La afección por taladro se evaluó determinando el porcentaje de judías afectadas sobre las 100 judías de muestra.

5.3. Evaluación instrumental del color

Para la evaluación instrumental del color de las judías se empleó un colorímetro Minolta (Chroma Meter CR-400) (figura 5.3). 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.



Figura 5.3. Colorímetro Minolta CR400. (Fuente: AQ instruments)

El espacio CIE lab de la Comisión Internationale de l'Eclairage, define estos espacios de color para comunicar y expresar el color objetivamente. Este espacio de color

correlaciona los valores numéricos de color con la percepción visual humana con los siguientes parámetros:

Luminosidad (L): cantidad de luz reflejada, claridad, luminosidad o brillo 0= negro; 100=blanco

Cromaticidad: define el color

a*= índice del rojo positivo (0-50) = rojo, negativo (-50,0) = verde

b*= índice de amarillo, positivo (0-50) = amarillo, negativo (-50,0) = azul

Dada la pequeña sección transversal de las judías y para evitar que el haz de luz emitido por el equipo incidiese sobre la superficie de medición obteniendo un valor erróneo en la medida, las judías se dispusieron en pequeños grupos de 3 alturas con 15 vainas, tomando 5 medidas por grupo.

Además, y con el fin de detectar las posibles diferencias entre las distintas variedades tanto en fresco, como tras el escaldado y posterior congelación se utilizó la ecuación de diferencia de color CIELAB (1976):

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta a^2 + \Delta b^2 + \Delta L^2)} = \sqrt{(a^*_m - a^*_{ref})^2 + (b^*_m - b^*_{ref})^2 + (L^*_m - L^*_{ref})^2}$$

$\Delta E < 3$: diferencias de color no apreciables entre ambas muestras.

$\Delta E > 3$: las diferencias de color entre ambas muestras son apreciables por el ojo humano

5.4. Evaluación de la firmeza

La firmeza es un atributo textural importante en frutas y hortalizas, que se utiliza con relación al establecimiento del momento óptimo de la recolección, a la evaluación de la calidad durante el almacenamiento, a la comercialización en fresco o al procesado inicial de los productos. La firmeza puede determinarse a través de distintas magnitudes, como la resistencia a la rotura, el módulo de elasticidad, la indeformabilidad o cualquier otra magnitud proporcional a las anteriores (Barreiro 1996). En este caso se utiliza la resistencia a la rotura.

Para la medida instrumental de la firmeza se seleccionaron 30 vainas aleatoriamente de cada una de las variedades y se realizó un test de resistencia a la rotura con un texturómetro TA-XT2i (Stable Micro Systems, Galdmington, England) dotado con una célula de carga de 30 kgF y una sonda de sonda A/BS cuchilla de corte con el programa

para protocolo AIB (American Institute of Baking) (figura 5.4.). Esta sonda consiste en una lámina metálica de aproximadamente 1 mm de espesor que actúa como cuchilla



Figura 5.4. Texturómetro TA-XT2i y cuchilla de corte A/BS según método AIB (Fuente: Aname instrumentación científica)

Los resultados de fuerza requerida obtenidos con este test se expresan en kilogramos fuerza (kgF), a mayor fuerza requerida para realizar el corte de la pieza (más kgF) mayor es la dureza de la muestra analizada.

5.5. Determinación de clorofilas

La extracción de clorofilas se realizó según el procedimiento de Aguilo-Aguayo (2014) ligeramente modificado. Se han homogenizado, en ultra-turrax (T25 basic IKA-WERKE) (figura 5.5), 3 g de judías con 15 mL de acetona pura al 1% de CaCO₃ durante 2 min (frescas) y 1 min 30 s (escaldadas y congeladas) a 9500 rpm, procediendo a una filtración por vacío con dos reextractados de 5 mL de acetona al 80% y se centrifugó (Digicen 20, figura 5.5) a 4000 rpm durante 15 min a 4 °C. Por último, se enrasó cada extracto hasta 25 mL con acetona al 80%. Todo el proceso se realizó protegiendo la muestra de la luz solar con papel de aluminio en todo momento. Cada una de las muestras de las distintas variedades se analizó por triplicado.



Figura 5.5. Ultra-Turrax T25 basic IKA-WERKE y centrifugadora Digicen 20.

Tras la obtención de los extractos, se midió la absorbancia de la muestra con un espectrofotómetro JASCO V-530, a 645 y 663 nm y se calculó la concentración de clorofilas según Aguiló-Aguayo (2014), siendo L (cm) la longitud del camino de la luz = 1.

$$\text{clorofila } a = \frac{(12,3 * A_{663} - 0,86A_{645}) * V_{\text{extracto}} (mL) * 100}{1000 * L (cm) * \text{Masa muestra} (g)}$$

$$\text{clorofila } b = \frac{(19,3 * A_{645} - 3,6 * A_{663}) * V_{\text{extracto}} (mL) * 100}{1000 * L (cm) * \text{Masa muestra} (g)}$$

Los resultados obtenidos se expresaron en mg clorofila total, clorofila a y clorofila b/100 g.p.f. (g peso fresco).

5.6. Determinación de compuestos fenólicos.

El contenido total de fenoles en las judías verdes se realiza mediante el método Folin-Ciocalteu (F-C), este método se basa en la transferencia de electrones del antioxidante al reactivo F-C, que actúa como oxidante. La estructura química del reactivo F-C es desconocida, sin embargo, se describe como una mezcla compleja de ácidos fosfotúngstico y fosfomolibdico de color amarillo que se reducen durante el proceso y produce un cromóforo azul con una absorbancia máxima a 765 nm. La magnitud del cambio de color cuando la reacción se ha completado es directamente proporcional a la actividad reductora de los compuestos fenólicos. Los fenoles reaccionan sólo con F-C en condiciones de pH básico. El reactivo F-C sólo puede ser utilizado para los antioxidantes solubles en agua.

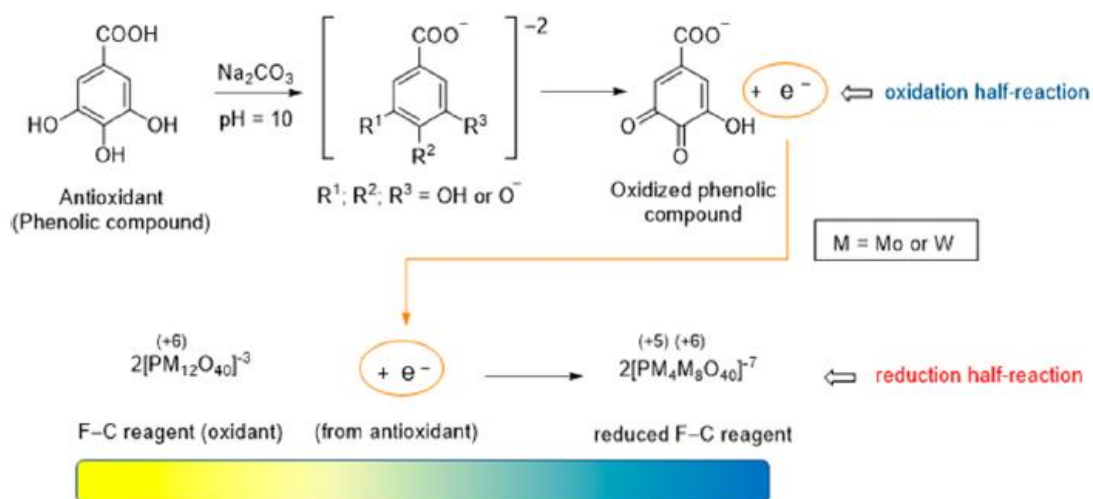


Figura 5.6. Reacción redox en el método Folin-Ciocalteu (Fuente: Pérez *et al.* 2023).

En primer lugar, se obtuvo el extracto fenólico del producto en fresco. La extracción se llevó a cabo utilizando 2,5 g de material vegetal y 10 mL de solución etanol:agua (80:20; v/v) que se homogeneizó con ultraturrax durante 2 min en frío. Seguidamente la mezcla se centrifugó a 4000 rpm durante 10 min a 4 °C.

El procedimiento para determinar la concentración de compuestos fenólicos totales utilizado fue descrito por Singleton *et al.*, (1999) ligeramente modificado en placa microtiter de 96 pocillos (figura 5.7), basado en la medida espectrofotométrica a 760 nm de los productos reducidos obtenidos de la reacción entre el reactivo de Folin-Ciocalteu y los fenoles de la muestra. Para ello, se tomaron 10 µl de extracto, se añadió 80 µl de H₂O miliQ. y 80 µl de Folin Ciocalteu 0,25 N, se agitó 3 min en la placa vortex, se añadieron 30 µl de Na₂CO₃ y se guardó durante una hora en la oscuridad. A continuación, se agitó en el lector de micropalacas HEALES mod. 580 (figura 5.7) durante 60 s y se midió la absorbancia a 760 nm. Se realizaron 3 extractos de cada muestra y se midieron cada uno de los extractos por duplicado. El contenido de compuestos fenólicos totales se expresó como mg ácido gálico/100 g.p.f.

Para la determinación del contenido en fenoles de los extractos se realizó una recta patrón con ácido gálico (0-200 mg/l) (figura 5.8).



Figura 5.7. Lector automático de absorbancia en microplacas HEALES modelo 580.

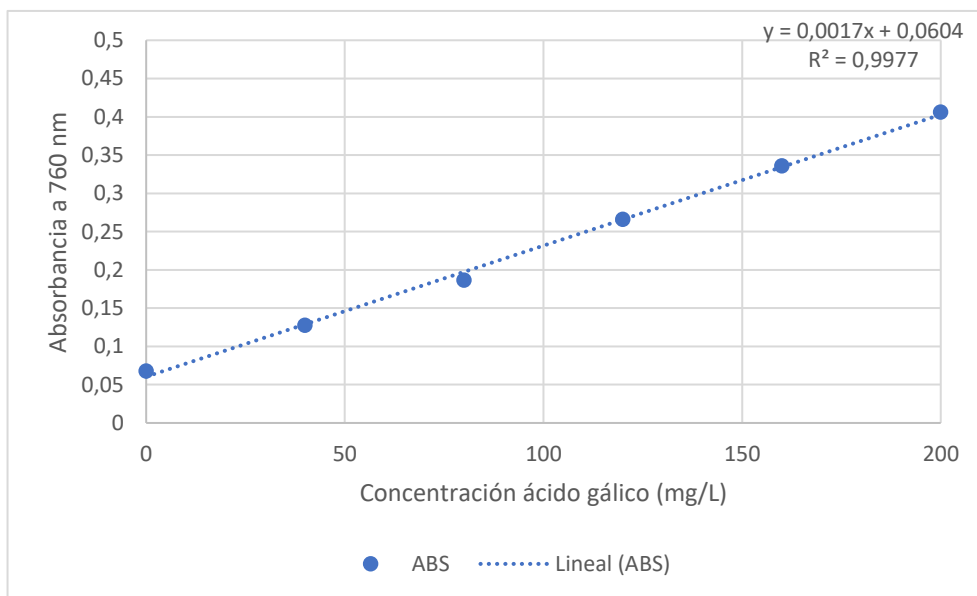


Figura 5.8. Recta patrón para la determinación de fenoles.

5.7. Determinación de la capacidad antioxidante mediante el método del radical libre 2,2-difenil-1-picrilhidrazil (DPPH)

Para evaluar la actividad antioxidante de una muestra vegetal, esta se hace reaccionar con un radical estable, 2,2-difenil-1-picrilhidracilo (DPPH) en una solución de etanol. La reducción del DPPH disminuye la absorbancia en la longitud de onda de 515 nm durante la reacción. En su forma radical DPPH absorbe a 515 nm tiene un color violeta, pero cuando es reducido por un antioxidante (AH) o un radical, la absorción desaparece y su color vira al amarillo pálido. (Brand-Williams, 1995).

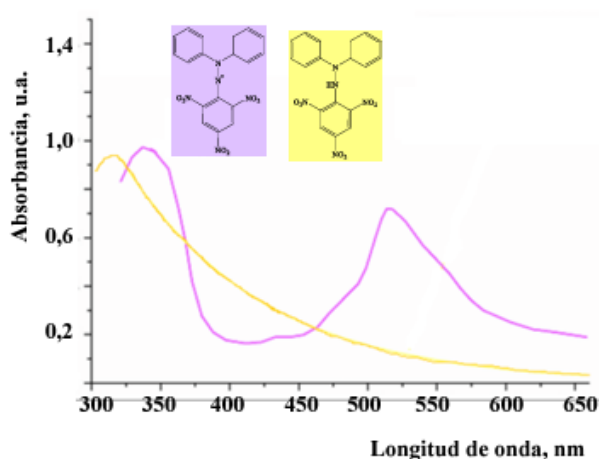
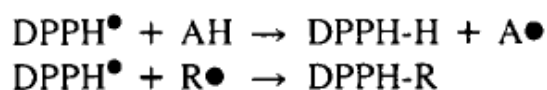


Figura 5.9. Espectro de absorción del DPPH en su forma radicalaria y su forma estable (Liu,2007)

El método utilizado se ha basado en el protocolo descrito por Llorach *et al.*, (2008) con alguna modificación. A 2,5 g de judía se le añadieron 4 mL de solución metanol:agua 50:50 (v:v) y se homogeneizó con ultraturrax. Se incubó en baño termostático durante 30 min a 90 °C y posteriormente se enfrió en hielo durante 5 min. La muestra se centrifugó durante 10 min a 4 000 rpm y 4 °C.

Tras la obtención del extracto, se tomaron 10 µL y se mezclaron con 290 µL de DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazil) y la actividad antioxidante se evaluó midiendo la variación de la absorbancia a 515 nm tras 600 s de agitación. La recta patrón se realizó con Trolox (0-200 µM) y los resultados se expresaron como µmol de Trolox en 100 g.

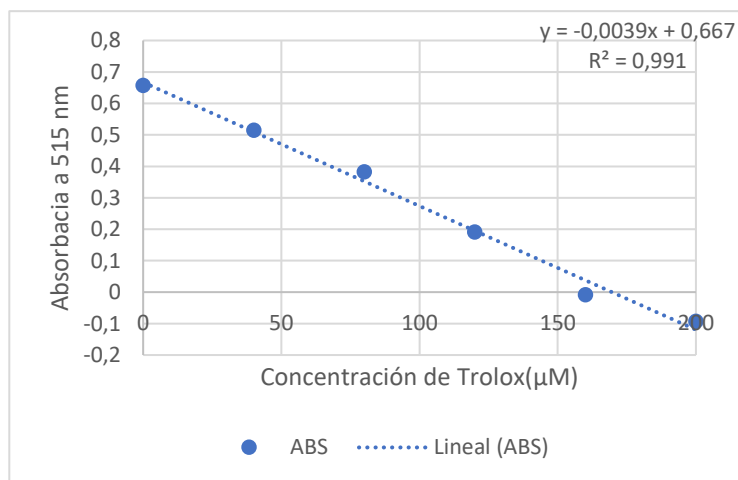


Figura 5.10. Recta patrón para la determinación de capacidad antioxidante.

5.8. Determinación de ácido ascórbico

La cuantificación de ácido ascórbico en cada una de las variedades estudiadas se realizó según el método 967.21 de la AOAC modificado. Se homogeneizaron en ultra-turrax (T25 basic IKA-WERKE) a 9.500 rpm, 3 g de judías con 15 mL de agua destilada durante 2 min en judía fresca y 1 min 30 s en las muestras escaldadas y congeladas. Seguidamente, estos extractos se filtraron a vacío realizando dos reextracciones con 5 mL de agua destilada. Tras la reextracción se añadieron 50 mL de ácido acético al 5 % y se llevó a un volumen final de 100 mL con agua destilada. La mezcla se agitó y se valoró con 2,6 diclorofenolindofenol (50 mg/100 mL). Cada muestra se analizó por triplicado.

La recta patrón se realizó con ácido ascórbico (0-2 mg/100 mL) y los resultados se expresaron como mg ácido ascórbico en 100 g de judía.

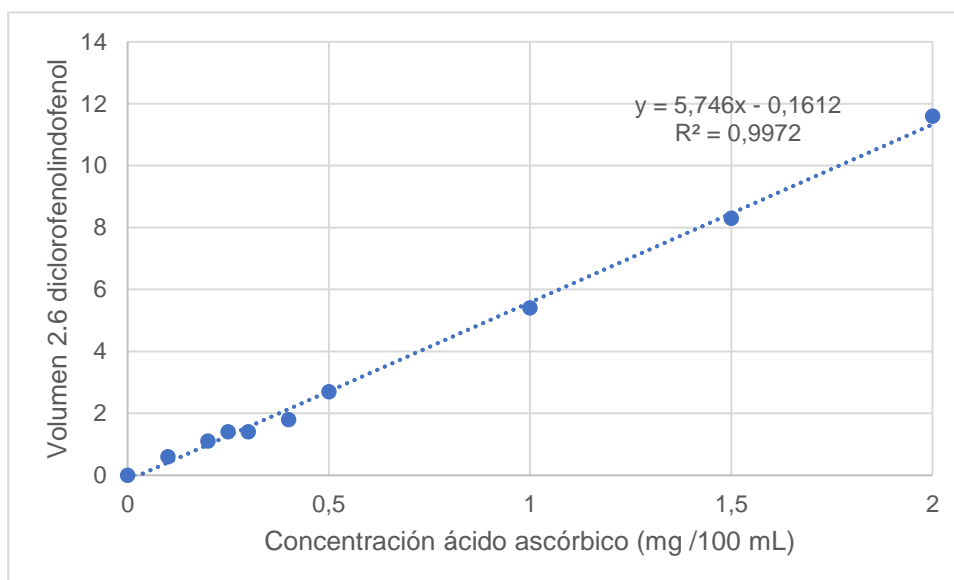


Figura 5.11. Recta patrón con ácido ascórbico para la determinación de la vitamina C.

5.9. Análisis sensorial

Con el fin de evaluar sensorialmente las distintas variedades de judía verde se realizó una cata con un panel de 10 catadores, comprobando así, la posible aceptación de dichas variedades en el mercado. Las variedades evaluadas fueron Modesto, Dominio, Valentino y Santander. Además, se añadió una judía verde ultracongelada comercial para realizar una comparación entre esta y las variedades contempladas en este estudio.

Las muestras, 100 g de judía verde, se sometieron a un proceso de cocción a 100 °C durante 10 min en 700 mL de agua.

Cada muestra se codificó con un número aleatorio de tres cifras (238, 531, 872, 127 y 362) y se pidió a los miembros del panel que limpiasen su boca entre muestra y muestra tomando un colín de pan y bebiendo agua. Todas las muestras fueron puestas a la vez a disposición de los catadores (figura 5.12).

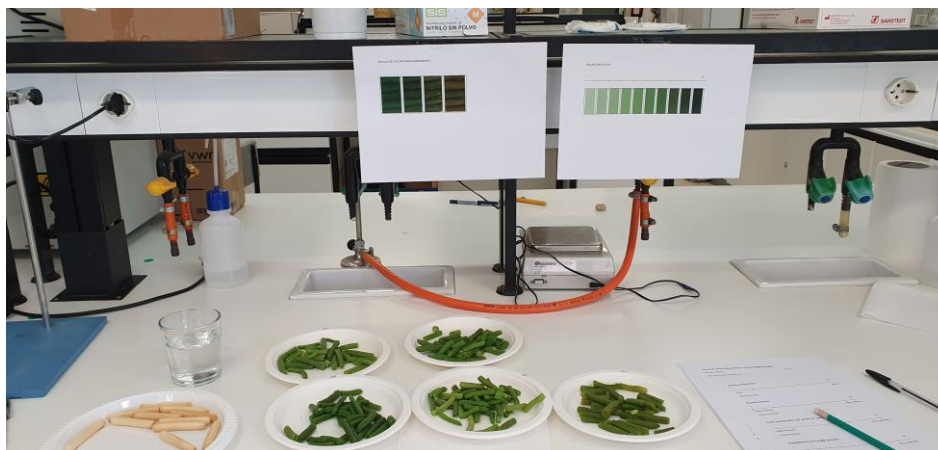


Figura 5.12. Detalle del puesto de cata.

Los parámetros evaluados fueron:

- Textura: resistencia de la judía a la masticación.
- Exudado: sustancias secretadas a través de los poros de los tejidos.
- Sabor: es la impresión que causa el alimento, y está determinado principalmente por sensaciones químicas detectadas por el gusto (lengua) así como por el olfato (olor). Se distingue entre la evaluación del sabor a judía verde y otros sabores extraños.
- Aroma: es la característica del alimento que permite la estimulación del sentido del olfato. Se distingue entre la evaluación del aroma a judía verde y otros aromas extraños.
- Color: es la impresión producida por un tono de luz en los órganos visuales, o más concretamente, es una percepción visual que se genera en el cerebro. Este aspecto se evaluó en cuanto al verde característico y al pardeamiento puntuando las muestras en función de las escalas de las figuras 5.13 y 5.14, respectivamente.

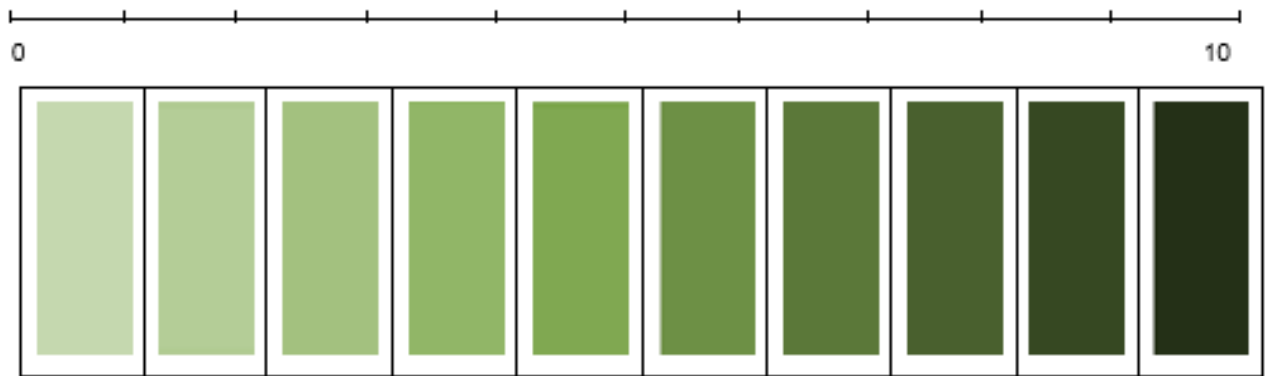


Figura 5.13. Escala de color para valorar el verde característico de judía verde



Figura 5.14. Escala de color para la valoración del pardeamiento en judía verde.

La ficha de evaluación sensorial empleada en la valoración de los distintos atributos anteriormente mencionados se detalla en la figura 5.15.

HOJA DE CATA DESCRIPTIVA: JUDIA VERDE COCIDA

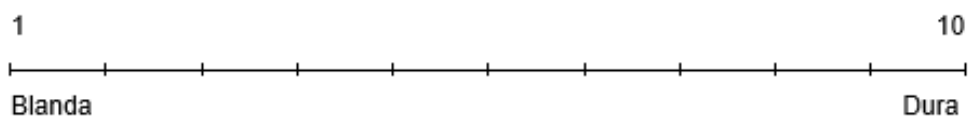
Nombre catador:

Fecha:

¿Es consumidor habitual de judía verde congelada?

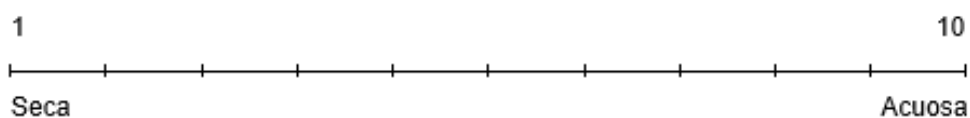
N.º muestra:

Textura en boca



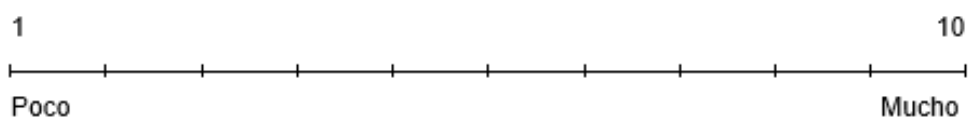
Observaciones:

Exudado



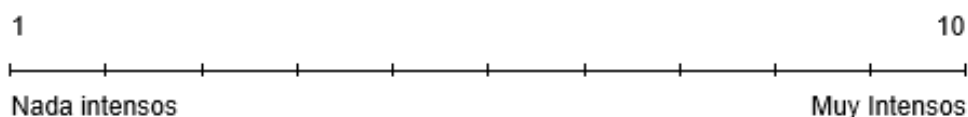
Observaciones:

Sabor característico judía



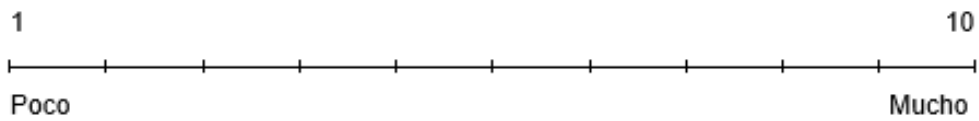
Observaciones:

Sabores extraños



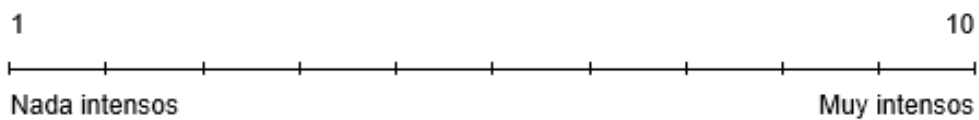
Observaciones:

Aroma característico



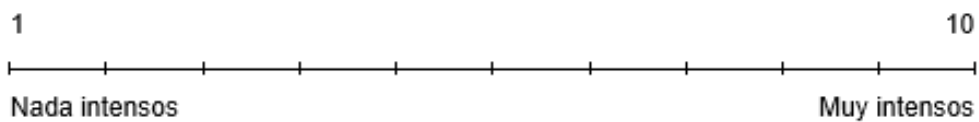
Observaciones:

Aromas extraños



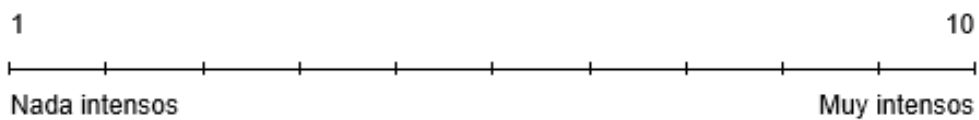
Observaciones:

Color característico (ver escala de color)



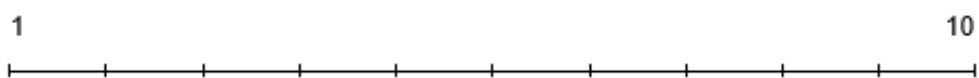
Observaciones:

Pardeamiento (ver escala de color)



Observaciones:

Valoración global



Observaciones:

Figura 5.15. Hoja de cata utilizada en el análisis sensorial de judía verde. Elaboración propia.

5.10. Análisis estadístico

El análisis estadístico de los resultados se realizó utilizando el software Perfect Statistical Professional Presented (PSPP). Las diferencias en los valores medios se analizaron con un ANOVA (Análisis de varianza) de una vía y se separaron mediante la prueba de diferencia significativa de Tukey ($p < 0,05$).

Para examinar las diferencias entre la media de dos muestras se realizó un t Test (Test t de Student), donde $p < 0,05$ muestra diferencias significativas entre las muestras.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Parámetros agronómicos

El porte de la planta, medido sobre plantas arrancadas colocadas sobre una superficie plana, fue:

- 50-60 cm para la variedad de vaina plana Usambara
- 30-40 cm para las variedades de vaina redonda Dominio y Dior
- 40-50 cm para las variedades de vaina redonda Modesto y Santander y
- >60 cm para la variedad redonda Valentino.

Los resultados de la evaluación del rendimiento en recolección: plantas/m², vainas/m² y rendimiento (Kg/m²) se reflejan en la tabla 6.1.

Tabla 6.1. Rendimientos en recolección de las distintas variedades de judía verde cultivadas en Tauste (Aragón, España)

VARIEDAD	Plantas/m ²	Nº vainas/m ²	Rendimiento (Kg/m ²) (todas las vainas)	Rendimiento (Kg/m ²) (vainas diámetro > 7,5mm)
Usambara	17	119±64	1,0±0,8	1,0
Modesto	22	270±21	0,7±0,2	0,4
Dominio	26	350±15	1,0±0,6	0,4
Dior	23	144±57	0,4±0,2	0,2
Valentino	13	266±108	0,9±0,5	0,6
Santander	22	334±70	1,2±0,4	0,9

Lo primero que se detecta al observar los datos de los rendimientos es que todas las variedades presentan unas altas desviaciones lo que puede estar determinado por el procedimiento de muestreo ya que se recogen matas en distintos puntos del cultivo.

Sin embargo, sí que podemos establecer que las variedades redondas Dominio, Valentino y Santander son las más productivas tomando todas las vainas, siendo Dominio y Santander las más prolíficas en vainas, con 350 y 334 vainas/m², respectivamente. Si tomamos solamente las vainas con diámetros mayores a 7,5 mm (mayor valor comercial), la variedad que sobresale es Santander.

El rendimiento medio para la judía verde en Aragón es de 13,5 t/ha, es decir 1,3 kg/m². Por tanto, de las variedades testadas en este proyecto sólo la variedad Santander con 1,2 kg/m² se acerca al nivel medio en Aragón, quedando el resto de variedades lejos

del rendimiento medio esperado siendo Dior y Modesto las menos productivas, con 0,4 y 0,7 kg/m², respectivamente.

Durante la cosecha se observó presencia de hongos en plantas y frutos, en determinados puntos, pero con una afección mínima. Los síntomas de moho blanco de aspecto algodonoso fueron compatibles con *Sclerotinia* spp.

Respecto a los daños por orugas, se detectó presencia de orugas compatibles con *Helicoverpa* y *Autographa gamma* pero no se descartaron otras orugas como *Ostrinia nubilalis*.

6.2. Parámetros morfológicos

Las características morfológicas de las distintas variedades de judía verde: sección transversal, curvatura vaina y posición de pico se evaluaron según la figura 5.1. y se midieron el peso de las vainas, su longitud y anchura, según el procedimiento detallado en la sección 5.2. Los resultados se presentan en la tabla 6.2.

Tabla 6.2. Características morfológicas en vainas de judía verde cultivadas en Tauste (Zaragoza) en el momento de la recolección

Variedad	Peso vaina (g)	Longitud (mm)	Anchura (mm)	Sección transversal ¹	Curvatura vaina ²	Posición de pico ³
Usambara	13,9±5,3	156,7±24,4	8,2±1,4	2	4,2	1
Modesto	5,6±1,2b	134,4±11,4b	7,5±0,6b	3	5,2	1
Dominio	5,0±1,1b	135,9±10,7b	7,1±0,6b	3	4,6	1
Dior	5,6±1,7ab	133,6±10,9b	7,3±1,1b	3	4,8	1
Valentino	6,8±2,2a	148,9±12,7a	7,5±1,0b	3	5,7	1
Santander	5,5±1,2b	131,4±15,6b	9,0±2,0a	3	4,8	1

¹Sección transversal: (1) muy plana, (2) forma pera, (3) elíptica redondeada, (4) forma ocho

²Curvatura vaina: (3) recta, (5) ligeramente curvada, (7) curvada, (9) en forma de "S"

³Pico: (1) marginal, (2) no marginal Figura 5.1

Valores seguidos de letras diferentes señalan poblaciones significativamente diferentes ($p < 0,05$) de acuerdo con la prueba de Tukey. La variedad Usambara ha sido excluida del estudio estadístico al ser una variedad plana.

La única variedad plana incluida en este estudio fue la variedad Usambara que, al poseer características morfológicas evidentemente distintas del resto de variedades, fue excluida del estudio estadístico. El resto de variedades, todas redondas, poseen un peso similar, que oscila entre los 5 g de Dominio y los 5,6 g de Modesto y Dior, detectándose un mayor peso medio en la variedad Valentino con 6,8 g. Lo mismo sucede con la longitud

donde Valentino se diferencia del resto con 148,9 mm, no superando el resto de variedades 136 mm.

Observando todos estos datos en global podemos establecer que la variedad Modesto es la que tiene menor variabilidad de peso, de longitud y de anchura, lo que la hace muy adecuada para su transformación industrial mientras que la variedad Valentino, a pesar de ser la de mayor peso y longitud, posee una mayor curvatura de la vaina lo que podría dificultar su industrialización.

En la figura 6.1. se pueden observar las distintas variedades evaluadas en este apartado.

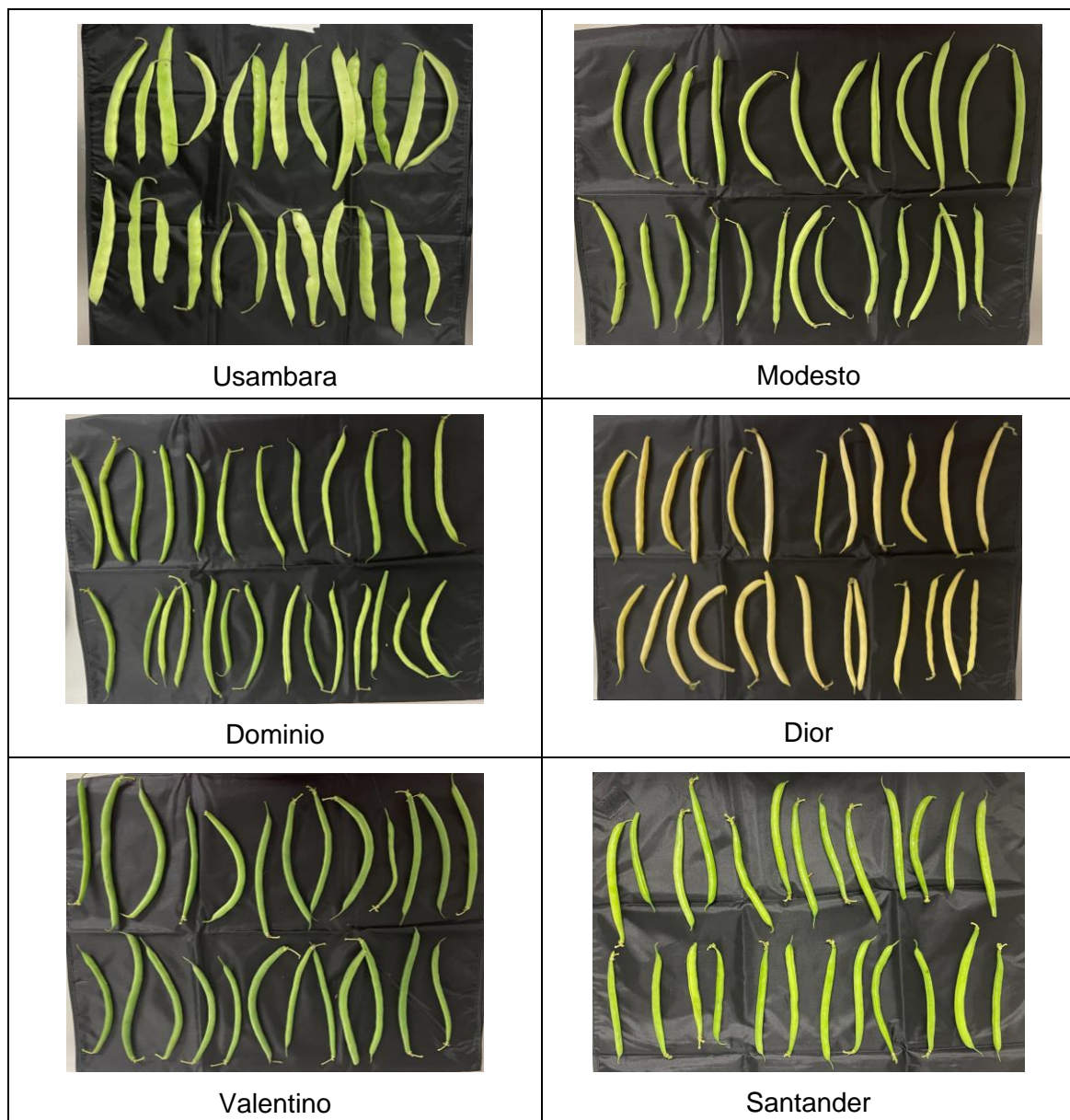


Figura 6.1. Características morfológicas de las diferentes variedades.

Los resultados de sensibilidad a los roces e incidencia de taladro se recogen en la tabla 6.3. Ninguna variedad presentó roces en grado severo y solo una, roces moderados. Usambara mostró una mayor susceptibilidad a los roces ya que únicamente el 71 % de las muestras analizadas estaban libres de afección, un 24 % mostraba roces ligeros y un 5 % roces moderados. También fue la variedad con un mayor porcentaje de vainas afectadas de taladro, un 12 %. Entre las variedades redondas fue Valentino la de menor porcentaje de vainas libres de roces y Santander la de mayor ya que todas las vainas estaban libres de roces. En estas variedades la afección por taladro se mantuvo por debajo del 10 %. En la figura 6.2 se pueden observar muestras de Modesto afectadas por taladro.

Tabla 6.3. Intensidad de roces y afección por taladro, en vainas de judía verde cultivadas en Tauste (Zaragoza) en el momento de la recolección

Variedad	Roces (%)*				Taladro (%)
	G1	G2	G3	G4	
Usambara	71	24	5	0	12
Modesto	87	13	0	0	6
Dominio	96	4	0	0	8
Dior	96	4	0	0	5
Valentino	75	25	0	0	4
Santander	100	0	0	0	9

*G1: sin roces, G2: roces ligeros, G3 roces moderados, G4 roces severos.(Figura 5.2.)



Figura 6.2. Muestra de judía verde afectada por taladro (variedad Modesto).

6.3. Color instrumental (coordenadas CIELab)

En las tablas 6.4., 6.5. y 6.6. se presentan los datos de la evaluación instrumental del color, coordenadas L*, a* y b*, respectivamente, para cada variedad tanto en fresco, como tras el escaldado y después de seis meses de mantenimiento en congelación para los distintos sistemas (aire estático, aire forzado y nitrógeno líquido).

Respecto a la coordenada L*, siendo el valor 0 el negro puro y 100 el blanco puro, se puede observar que la variedad que en fresco mostró un color verde más oscuro fue Valentino. En general, tras el escaldado, se observa una disminución de la claridad y algunas variedades se oscurecen significativamente, caso de Usambara y Santander, fenómeno que se mantiene tras el almacenamiento en congelación. Estas diferencias en la claridad se reflejan en las fotografías recogidas en la tabla 6.8. Estas variaciones influyen en las diferencias de color según ΔE CIELAB que analizaremos al final de este epígrafe.

Tabla 6.4. Coordenada L* en distintas variedades de judía verde en fresco, tras su escaldado y tras su escaldado y almacenamiento 6 meses a -18 °C en muestras congeladas lentamente (aire estático), rápidamente (aire forzado) y ultrarrápidamente (nitrógeno líquido).

Variedad	Fresca	Escaldada	Congelación		
			Aire estático	Aire forzado	N ₂
Usambara	60,27±2,95aA	49,54±2,94bA	46,42±2,85bA	48,17±4,04bA	47,32±3,10bA
Modesto	40,63±7,80aB	41,02±2,52bB	42,66±3,54bAB	42,00±1,65bBC	41,07±3,12bB
Dominio	43,53±5,46abC	39,12±3,45bBC	43,68±3,66aAB	44,79±4,96aAB	37,34±2,28bBC
Dior	59,75±7,32a	56,58±2,89a	sin muestra	sin muestra	sin muestra
Valentino	35,49±4,77aD	35,66±3,61aC	38,00±3,63aC	36,79±4,05aD	38,18±3,33aBC
Santander	51,45±2,40aB	38,35±4,54bBC	40,18±3,31bBC	38,66±2,52bCD	37,19±3,03bE

**Valores seguidos de letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los distintos estadios del proceso productivo y almacenamiento de acuerdo con el test de Tukey. Letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre variedades para un mismo estadio. La variedad Dior fue excluida del estudio estadístico entre variedades al ser una variedad de color amarillo.*

Respecto a la coordenada a*, correspondiendo valores negativos a los tonos verdes y más prevalencia de tono verde cuanto más negativos, Santander fue la variedad con un verde menos intenso con valores medios de -4,59 estando el resto de variedades en torno a -11 y -12. Aquí, todas las variedades aumentaron significativamente la intensidad del verde tras el escaldado con valores cercanos a -20 que, aunque con ligeras disminuciones, se mantienen tras la congelación y almacenamiento.

Tabla 6.5. Coordenada a* en distintas variedades de judía verde en fresco, tras su escaldado y tras su escaldado y congelación (lenta (aire estático), rápida (aire forzado) y ultrarrápida (nitrógeno líquido)).

Variedad	Fresca	Escaldada	Congelación		
			Aire estático	Aire forzado	N ₂
Usambara	-11,91±1,43aB	-21,24±0,83bC	-17,40±1,85cA	-17,44±1,61cA	-18,76±1,26cAB
Modesto	-11,07±1,91aC	-20,74±2,17bC	-19,88±1,98bB	-19,56±1,00bB	-18,80±1,28bAB
Dominio	-12,73±1,98aC	-21,30±1,51aC	-20,06±1,35aB	-20,29±1,67aB	-16,89±2,97bA
Dior	-2,02±1,10a	-8,92±0,53b	sin muestra	sin muestra	sin muestra
Valentino	-10,74±1,59aB	-19,90±2,18bA	-18,95±1,91bcAB	-17,19±1,75bA	-20,03±1,68cB
Santander	-4,59±1,67aA	-17,95±4,90bB	-18,3±1,32bAB	-18,44±2bAB	-18,18±2,31bAB

*Valores seguidos de letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los distintos estados del proceso productivo y almacenamiento de acuerdo con el test de Tukey. Letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre variedades para un mismo estado. La variedad Dior fue excluida del estudio estadístico entre variedades al ser una variedad de color amarillo.

Respecto a la coordenada b*, oposición amarillo (+) - azul (-), todas las variedades presentaron valores positivos lo que nos informa de la ausencia total de tonos azules. En el caso de la variedad Dior, de color amarillo pajizo, se podría presuponer que sus valores de coordenada b* fuesen los más elevados, pero hay que tener en cuenta que el color es un espacio tridimensional y que, por tanto, viene determinado también por la coordenada a* que en el caso de esta variedad es muy poco verde y por tanto permite la visualización de los tonos amarillos.

Tabla 6.6. Coordenada b* en distintas variedades de judía verde en fresco, tras su escaldado y tras su escaldado y congelación (lenta (aire estático), rápida (aire forzado) y ultrarrápida (nitrógeno líquido)).

Variedad	Fresca	Escaldada	Congelación		
			Aire estático	Aire forzado	N ₂
Usambara	25,12±1,97aB	28,25±1,28bA	24,40±1,35aA	24,13±3,07aAB	25,87±1,79aA
Modesto	21,72±3,28aC	26,20±2,98abA	25,54±2,55bA	25,14±1,63bAB	25,72±2,03abA
Dominio	23,61±3,14aBC	25,90±2,07aA	25,76±2,82aA	27,23±2,82aA	20,37±4,2bB
Dior	23,71±3,63a	31,08±2,54b	sin muestra	sin muestra	sin muestra
Valentino	17,56±1,90aD	20,11±2,57aC	20,62±3,56abB	17,78±3,24aC	22,43±2,93bAB
Santander	30,37±2,43aA	22,45±4,35bB	23,46±1,58bAB	22,26±1,94bB	22,51±3,28bAB

*Valores seguidos de letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los distintos estados del proceso productivo y almacenamiento de acuerdo con el test de Tukey. Letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre variedades.

A pesar de que los valores de las coordenadas de color ya nos informan de las variaciones que ocurren en el proceso de congelación y de las diferencias entre variedades siempre resulta de interés calcular las diferencias de color según ΔE CIELAB (1976) donde valores por encima de 3 nos informan de que la diferencia de color evaluada instrumentalmente es perceptible por el ojo humano.

Esto lo podemos observar claramente comparando los valores de diferencia de color de la tabla 6.7 con las imágenes de la tabla 6.8 donde se recogen fotografías de las distintas variedades en fresco, escaldadas y tras almacenamiento en congelación. Así, las variaciones de color entre las muestras frescas y las escaldadas siempre fue perceptible para el ojo humano siendo el caso más evidente el de la variedad Santander.




























Tabla 6.7. Diferencias de color según ΔE CIELAB (1976) de las distintas variedades de judía verde entre los diferentes procesos realizados para su congelación y entre los distintos métodos de congelación. $\Delta E < 3$: diferencias de color no apreciables entre ambas muestras. $\Delta E > 3$: las diferencias de color entre ambas muestras son apreciables por el ojo, resaltados en verde claro.

Variedad	Fresca vs escaldada	Cong. aire estático vs escaldada	Cong. aire forzado vs escaldada	Cong. N ₂ vs escaldada	Cong. aire estático vs aire forzado	Cong. aire estático vs N ₂	Cong. aire forzado vs N ₂
Usambara	14,6	6,3	5,8	4,1	1,8	2,2	2,3
Modesto	10,7	2,0	1,9	2,0	0,8	1,9	1,3
Dominio	9,9	4,7	5,9	7,3	1,9	8,9	10,7
Dior	10,6						
Valentino	9,5	2,6	3,7	3,4	3,6	2,1	5,6
Santander	20,3	2,1	0,6	1,2	1,9	3,1	1,5

Respecto a la congelación, Usambara, Dominio y Valentino se vieron influenciadas mientras que el cambio en Modesto y Santander no es apreciable por el ojo humano. La comparación de color entre los procesos de congelación por aire estático y forzado son indistinguibles, excepto en la variedad Valentino. La comparación entre congelación mediante aire estático y N₂ solo es distinguible para las variedades Dominio y Santander. Mientras que la comparación de congelación por aire forzado y N₂ es sólo distinguible para Dominio y Valentino.

Así, podemos establecer que el proceso que provoca mayor variación en el color es el escaldado, la congelación también supone ligeros cambios de color, pero de menor magnitud y claramente dependiente de las variedades.

Tabla 6.8. Comparación del color visual en judías verdes en fresco y tras el proceso para su congelación (escaldado y congelaciones lenta, rápida y ultrarrápida)

Variedad	Fresca	Escaldada	Congelación		
			Aire estático	Aire forzado	N ₂
Usambara					
Modesto					
Dominio					
Dior					
Valentino					
Santander					

6.4. Firmeza

En la tabla 6.9 se presentan los resultados de la evaluación de la firmeza de las diferentes variedades de judías verdes en fresco, tras el escaldado y tras su escaldado y posterior congelación durante 6 meses, realizada según el apartado 5.4.

En fresco, las variedades Dior y Santander fueron las que presentaron mayor firmeza, con 7,75 y 7,76 kgF, respectivamente, mientras que Valentino con 5,08 kgF y Modesto con 4,90 kgF la menor. Tras el escaldado y tras escaldado y congelación todas las variedades disminuyeron significativamente su firmeza.

En el caso de la congelación por aire estático la firmeza se estableció en torno a 0,39-0,63 kgF. En aire forzado todas las variedades se sitúan en 0,84-0,87 kgF y la mayor

firmeza se obtiene en la congelación ultrarrápida con 1-1,1 kgF no detectándose en ningún caso diferencias significativas entre las variedades.

Tabla 6.9. Firmeza (kgF) en distintas variedades de judía verde en fresco, tras su escaldado y tras su escaldado y 6 meses en congelación (lenta (aire estático), rápida (aire forzado) y ultrarrápida (nitrógeno líquido).

Variedad	Fresca	Escaldada	Congelación		
			Aire estático	Aire forzado	N ₂
Usambara	6,42±0,84a	2,29±0,52b	0,52±0,13c	0,87±0,07c	1,02±0,08c
Modesto	4,90±0,38aC	3,17±0,86bB	0,56±0,11dAB	0,84±0,08cdA	1,11±0,08cA
Dominio	6,88±0,19aB	3,27±0,21bB	0,63±0,11eA	0,84±0,09dA	1,07±0,11cA
Dior	7,75±0,29aA	4,32±0,28bA			
Valentino	5,08±0,21aC	3,37±0,32bB	0,39±0,12dC	0,87±0,12cA	1,06±0,08cA
Santander	7,76±0,44aA	4,12±0,31bA	0,47±0,14cBC	0,84±0,09bA	1,05±0,09bA

**Valores seguidos de letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los distintos estados del proceso productivo y almacenamiento de acuerdo con el test de Tukey. Letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre variedades. En Dior se ha realizado una comparación entre medias con T-student.*

Para evaluar el impacto que los diferentes procesos industriales tienen sobre la firmeza, en la tabla 6.10 se recoge la variación en porcentaje en cada una de las etapas.

Como ya se ha observado en los datos anteriores tras la congelación, independientemente del método empleado, los valores de firmeza se igualan entre variedades por lo que los porcentajes de pérdida de firmeza también lo reflejan. El proceso que tuvo un mayor impacto sobre la firmeza fue la congelación por aire estático con un 85% de pérdida, seguido de la congelación por aire forzado (62-80 %) y la congelación con nitrógeno del 55 al 74%. En comparación con la congelación, el escaldado tuvo un menor efecto sobre la firmeza con disminuciones entre 34 y 64 %.

Tabla 6.10. Disminución de la firmeza (%) en distintas variedades de judía verde en las distintas etapas del proceso: escaldado y congelación (lenta (aire estático), rápida (aire forzado) y ultrarrápida (nitrógeno líquido))

	Usambara	Modesto	Dominio	Dior	Valentino	Santander
Disminución por escaldado	64	35	52	44	34	47
Disminución por cong. aire estático	78	82	81		89	89
Disminución por cong. aire forzado	62	74	74		74	80
Disminución por cong. N₂	55	65	67		69	74

Por variedades, Usambara fue la variedad más afectada por el escaldado y Santander la más afectada por la congelación.

6.5. Parámetros químicos

En este capítulo se presentan los resultados de los parámetros químicos (clorofila, vitamina C, fenoles y actividad antioxidante) analizados en judías frescas, tras escaldado y después de almacenamiento en congelación.

Tras el análisis de los resultados se ha podido observar que, en muchas ocasiones, los valores obtenidos después de los procesos de escaldado y congelación eran significativamente superiores a los determinados en las muestras recién recolectadas. Este hecho no coincide con lo esperado ya que tanto las temperaturas elevadas como las pérdidas por lixiviación que se producen en el escaldado, así como las modificaciones químicas y enzimáticas durante el almacenamiento en congelación suponen una pérdida de estos compuestos.

A pesar de que para cada parámetro se explicarán las posibles causas que han podido ocasionar estos resultados, para todas ellas se puede establecer que una de éstas sea la extracción. El proceso de extracción seleccionado, 2,5-3 g de muestra vegetal con el solvente pertinente homogeneizado en ultraturrax a 9.500 rpm durante 2 min con 2 reextractados, no parece suficientemente efectivo para el caso de la judía fresca y sí para las muestras escaldadas y escaldadas y congeladas ya que estos procesos dañarían la estructura vegetal de una manera significativa como para facilitar la extracción.

En otros estudios como el realizado por Cubas *et al.* (2008) los procesos de extractado se llevan a cabo a partir de muestras liofilizadas. La liofilización permite una mayor superficie de contacto entre la muestra y el solvente utilizado para la extracción de la

sustancia química analizada, lo que no se produce en el proceso de homogeneización con ultraturrax utilizado partiendo de muestras frescas. Aunque el valor absoluto de las características químicas obtenido no lo podemos considerar fiable debido a los problemas de extracción, el proceso ha sido exactamente el mismo para las distintas muestras de judía verde por lo que se considera que el método utilizado permite hacer el análisis comparativo entre las diferentes variedades que es uno de los principales objetivos de este trabajo. Sin embargo, no se considera adecuado comparar muestras frescas con las procesadas por lo que no se pueden establecer conclusiones sobre la influencia de los distintos procesos.

6.5.1. Contenido en clorofila total y clorofilas a y b

En las tablas 6.11, 6.12 y 6.13 se presentan los datos de la determinación de clorofila total, a y b, respectivamente, para las distintas variedades de judía verde, en fresco, tras su escaldado y tras su escaldado y congelación. Las mediciones fueron realizadas según el apartado 5.5.

Respecto al contenido en clorofila total en fresco destacaron Dominio y Valentino, en torno a 11 mg/100 g, siendo estas variedades las que mantuvieron también un mayor contenido tras el escaldado, con 9,3 y 8,6 mg/100 g. Tras los procesos de congelación destacó claramente Valentino con 14,45 mg/100 g en la congelación por aire forzado. Idéntica situación se detectó para los contenidos en clorofila a y b.

Tabla 6.11. Contenido de clorofila total (mg/100 g.p.f.) en distintas variedades de judía verde en fresco, tras su escaldado y tras su escaldado y congelación (lenta (aire estático), rápida (aire forzado) y ultrarrápida (nitrógeno líquido)).

Variedad	Fresca	Escaldada	Congelación		
			Aire estático	Aire forzado	N ₂
Usambara	3,93±0,17aC	4,82±0,07aC	6,88±0,88bC	4,82±0,07aD	6,11±0,11bB
Modesto	6,22±0,39aBC	7,11±0,29abAC	8,92±1,45bBC	7,77±0,50abC	8,35±1,08abB
Dominio	10,54±2,51A	9,29±0,30A	10,68±0,71B	8,72±0,22BC	8,78±3,16AB
Dior	0,30±0,11D	0,35±0,15D			
Valentino	10,82±0,32abA	8,61±2,47aAB	14,17±1,39cbA	14,45±0,51cA	12,57±0,44cbA
Santander	8,10±0,43abAB	5,99±1,35aBC	8,79±0,71cAB	9,77±1,01bcB	8,79±0,88bAB

*Valores seguidos de letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los distintos estados del proceso productivo y almacenamiento de acuerdo con el test de Tukey. Letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre variedades. En Dior se ha realizado una comparación entre medias con T-student.

Por el contrario, las menores concentraciones en fresco fueron para la variedad plana Usambara con 4 mg/100 g y para la variedad amarilla Dior con 0,3 mg/100 g.

Tabla 6.12. Contenido de clorofila a (mg/100 g.p.f) en distintas variedades de judía verde en fresco, tras su escaldado y tras su escaldado y congelación (lenta (aire estático), rápida (aire forzado) y ultrarrápida (nitrógeno líquido)).

Variedad	Fresca	Escaldada	Congelación		
			Aire estático	Aire forzado	N ₂
Usambara	3,00±0,12	3,55±0,33	4,73±0,68	3,16±0,05	4,17±0,09
Modesto	4,66±0,18	5,37±0,14	6,04±1,08	5,42±0,39	5,59±0,85
Dominio	7,82±2,25	7,2±0,19	7,68±0,54	6,19±0,18	6,01±2,63
Dior	0,21±0,05	0,21±0,06			
Valentino	8,03±0,14	6,50±2,04	10,28±1,08	10,59±0,4	9,17±0,34
Santander	6,10±0,36	4,54±1,04	6,09±0,57	6,88±0,81	6,05±0,65

Tabla 6.13. Contenido de clorofila b (mg/100 g.p.f.) en distintas variedades de judía verde en fresco, tras su escaldado y tras su escaldado y congelación (lenta (aire estático), rápida (aire forzado) y ultrarrápida (nitrógeno líquido)).

Variedad	Fresca	Escaldada	Congelación		
			Aire estático	Aire forzado	N ₂
Usambara	0,92±0,05	1,12±0,09	2,15±0,19	1,66±0,02	1,95±0,03
Modesto	1,56±0,21	1,74±0,15	2,87±0,37	2,34±0,11	2,76±0,39
Dominio	2,72±0,26	2,08±0,10	3,01±0,18	2,53±0,04	2,77±0,54
Dior	0,09±0,06	0,14±0,09			
Valentino	2,78±0,18	2,12±0,43	3,88±0,31	3,86±0,11	3,40±0,09
Santander	2,00±0,07	1,45±0,31	2,71±0,15	2,89±0,21	2,74±0,23

Para evaluar el impacto de los diferentes procesos industriales en el contenido de clorofila total se ha calculado su variación en % y se muestra en la tabla 6.14.

Estadísticamente la variación por los procesos no fue relevante ni en Dominio ni en Dior. En la variedad Usambara no se detectó impacto ni del escaldado ni de la congelación por aire forzado, pero si que se observó un aumento significativo la congelación por aire estático y N₂. La variedad Modesto aumentó sus niveles tras la congelación por aire estático y en Valentino y Santander se detectaron mayores concentraciones tras todos los procesos

de congelación y almacenamiento. Únicamente en Dominio no se produjeron cambios tras el procesado industrial.

Tabla 6.14. Variación de clorofila total (%) en distintas variedades de judía verde en las distintas etapas del proceso: escaldado y congelación (lenta (aire estático), rápida (aire forzado) y ultrarrápida (nitrógeno líquido).

	Usambara	Modesto	Dominio	Dior	Valentino	Santander
Variación por escaldado	19	14	-12	17	-20	-26
Variación por cong. aire estático	47	25	15		65	147
Variación por cong. aire forzado	3	9	-6		68	51
Variación por cong. N₂	31	18	-5		46	33

El aumento del contenido en clorofila que se observa en algunas variedades tras el escaldado y en casi todas ellas tras la congelación y almacenamiento podría deberse a las modificaciones que éstos provocan en la estructura celular facilitando la extracción de los componentes intracelulares de cara a su determinación analítica. Cubas (2008) realizó un estudio para optimizar el proceso de extracción de las clorofilas en judía verde empleando para ello N,N-dimetilformamida siendo los parámetros óptimos elegidos: un tiempo de extracción de 90 min, un tiempo de homogeneización de 1 minuto y 5 re-extracciones. El factor más influyente en el rendimiento fue el número de extracciones. En nuestro caso tanto el tiempo de extracción como el número de extracciones son inferiores a los empleados en este trabajo lo que podría haber minusvalorado los niveles de clorofila, especialmente en las muestras frescas, aunque hay que destacar que los valores obtenidos en casi todas las variedades objeto de nuestro estudio (6,22 mg/100 g para Modesto, 8,10 mg/100 g para Santander, 10,54 mg/100 g para Dominio y 10,82 para Valentino) se encuentran dentro del intervalo obtenido por la autora (7,1 mg/100 g en el caso de la variedad Donna y 13,3 mg/100g para la variedad Emerite). Proulx et al. (2010) obtienen valores totales de clorofilas entre 15,2 y 18,3 mg/100 g, siendo un rango más elevado que el que se ha encontrado en nuestro análisis, entre 3,9 y 10,8, lo que además de confirmar variaciones entre las distintas variedades, se podría confirmar la hipótesis de una extracción incompleta con el procedimiento utilizado, como se ha comentado anteriormente, en concreto en las vainas frescas.

Por último, la ratio clorofila a/b (tabla 6.15) es un buen indicador de la adaptación de las plantas a la radiación. Esta ratio es menor en las hojas aclimatadas a la sombra, es decir, poseen mayores cantidades de clorofila b (Espinosa-González, 2022).

Tabla 6.15. Ratio clorofila a/b en las diferentes variedades de judía verde

Variedad	Fresca	Escaldada	Congelación		
			Aire estático	Aire forzado	N ₂
Usambara	3,25	3,16	2,19	1,91	2,14
Modesto	3,00	3,08	3,00	2,31	2,02
Dominio	2,87	3,46	2,55	2,44	2,17
Dior	2,22	1,56			
Valentino	2,89	3,07	2,65	2,75	2,70
Santander	3,05	3,13	2,25	2,38	2,21

La mayor ratio a/b en fresco lo obtuvo la variedad Usambara, entre las variedades redondas fueron Santander y Modesto las de mayor ratio lo que podría indicar una buena adaptación las condiciones de radiación de la zona y la época del año del cultivo. Sin embargo, este hecho no se tradujo en un mayor rendimiento, ya que en rendimiento fueron las variedades Santander, Usambara y Dominio las que destacaron por este orden.

6.5.2. Determinación de fenoles

En la tabla 6.16 se presentan los resultados de la evaluación de compuestos fenólicos en las diferentes variedades de judías verdes en fresco, tras el escaldado y tras su escaldado y posterior congelación durante 6 meses, realizada según el apartado 5.6.

El análisis entre variedades permite determinar que en fresco las mayores concentraciones fueron para Dior y Valentino con 30,13 y 27,28 mg/100 g, respectivamente. Estos valores concuerdan con los obtenidos por Patras *et al.* (2011) con 225,6 mg AGE/100 g y por El-Nafad *et al.* (2022), entre 234 y 280 mg/100 g, ya que en estos estudios el valor se expresa en peso seco. Tras el proceso de escaldado las concentraciones se igualan y no existen diferencias significativas entre las variedades. Tras la congelación mediante aire estático destacaron Modesto y Santander y tras la congelación con aire forzado y nitrógeno líquido no hay diferencias significativas en el contenido de fenoles entre variedades con un máximo de 20 mg/100 g para Valentino y 14,27 mg para Usambara.

Tabla 6.16. Compuestos fenólicos (mg ácido gálico/100 g.p.f.) en distintas variedades de judía verde en fresco, tras su escaldado y tras su escaldado y congelación (lenta (aire estático), rápida (aire forzado) y ultrarrápida (nitrógeno líquido)).

Variedad	Fresca	Escaldada	Congelación		
			Aire estático	Aire forzado	N ₂
Usambara	13,98±1,91bC	20,45±2,18a	15,08±1,88bB	14,27±3,54b	13,15±1,77b
Modesto	21,09±1,79aB	22,49±2,71a	18,90±1,44abAB	16,28±3,55b	18,99±3,13ab
Dominio	22,34±1,67abB	24,16±1,77a	15,85±2,98cB	16,05±2,66c	19,24±3,26bc
Dior	30,13±4,16A	(¹)	(¹)	(¹)	(¹)
Valentino	27,28±1,42aA	22,45±2,17b	15,18±2,72cB	20,05±2,55b	19,91±3,60b
Santander	21,54±1,47B	22,61±2,00	22,61±1,99A	19,10±4,55	21,54±1,47

*Valores seguidos de letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los distintos estados del proceso productivo y almacenamiento de acuerdo con el test de Tukey. Letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre variedades.

¹No se dispuso de muestra suficiente para el análisis

En la tabla 6.17 se presenta la variación en porcentaje, que ocasionan cada uno de los procesos empleados: escaldado y congelación con aire estático, forzado y nitrógeno, observándose que la variación por escaldado sólo fue significativa en Usambara y Valentino, aumentando en la primera y disminuyendo en la segunda. Los procesos de congelación tienen impacto en la reducción de fenoles, entre un 11% y un 35 %, sin embargo, la diferencia entre los procesos de congelación es pequeña siendo la congelación por nitrógeno líquido la que menos redujo estos compuestos.

Tabla 6.17. Variación de compuestos fenólicos (%) en distintas variedades de judía verde en las distintas etapas del proceso: escaldado y congelación (lenta (aire estático), rápida (aire forzado) y ultrarrápida (nitrógeno líquido))

	Usambara	Modesto	Dominio	Valentino	Santander
Variación por escaldado	46	7	8	-18	5
Variación por cong. aire estático	-26	-16	-34	-32	0
Variación por cong. aire forzado	-30	-27	-33	-11	-15
Variación por cong. N ₂	-35	-16	-20	-11	-0,5

Respecto al aumento de fenoles con el escaldado, este hecho puede justificarse por el impacto que el proceso puede tener en la composición física y bioquímica y en la funcionalidad de los vegetales, que podría tener un papel fundamental en el

comportamiento no uniforme de los fenoles respecto a los diferentes procesados, tal y como indica Patras *et al.* (2011) en su estudio.

6.5.3. Determinación de la capacidad antioxidante (TAC) mediante DPPH

En la tabla 6.18 se presentan los datos de la capacidad antioxidante para las distintas variedades de judía verde, en fresco, tras su escaldado y tras su escaldado y congelación, las mediciones fueron realizadas según el apartado 5.7.

En fresco destacó por su capacidad antioxidante la variedad Dior con 13,42 $\mu\text{mol Trolox /100g}$, seguida de la variedad Valentino con 7 μmol . En el resto de variedades el contenido no superó 1,5 μmol , datos en consonancia con los obtenidos por Paciulli *et al.* (2015), donde observaron que tanto en espárragos como en judías verdes se produce un aumento de la capacidad antioxidante tras la cocción y congelación de las muestras en los dos métodos de determinación de TAC (DPPH y FRAP), por lo que es posible plantear la hipótesis de una liberación de los componentes antioxidantes por parte de las células, factor teorizado anteriormente en la literatura por Jiménez-Monreal *et al.* (2009) y por Yamaguchi *et al.* (2001).

Tras el escaldado la capacidad antioxidante aumentó en todas las variedades, excepto en Dior y Valentino, siendo especialmente significativo en las variedades Usambara, Dominio y Santander. Tras los procesos de congelación y posterior almacenamiento todas las variedades mostraron una mayor capacidad antioxidante, especialmente la variedad Santander, con 21 $\mu\text{mol/100 g}$.

Tabla 6.18. Capacidad antioxidante ($\mu\text{mol Trolox /100 g.p.f}$) en distintas variedades de judía verde en fresco, tras su escaldado y tras su escaldado y congelación (lenta (aire estático), rápida (aire forzado) y ultrarrápida (nitrógeno líquido)).

Variedad	Fresca	Escaldada	Congelación		
			Aire estático	Aire forzado	N ₂
Usambara	0,78±0,16aC	8,83±0,52bA	15,12±0,55dB	15,67±0,63dB	13,19±0,94cB
Modesto	1,03±1,49aC	4,59±2,54aB	11,64±0,41bC	12,19±0,56bC	11,58±0,34bB
Dominio	1,34±0,78aC	9,15±1,32bA	11,26±0,26bcC	16,78±0,86dB	13,24±0,16cB
Dior	13,42±0,45aA	9,48±0,65bA			
Valentino	7,01±0,30aB	5,59±1,14aAB	8,63±0,36bC	9,47±0,65bC	11,13±0,37cC
Santander	1,27±1,30aC	5,62±1,74aAB	21,83±2,17bA	21,72±0,35bA	21,83 ±1,07bA

*Valores seguidos de letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los distintos estados del proceso productivo y almacenamiento de acuerdo con el test de Tukey. Letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre variedades.

En la tabla 6.19 se presenta la variación en tanto por uno, que ocasionan cada uno de los procesos analizados: escaldado y congelación con aire estático, forzado y nitrógeno.

Tabla 6.19. Variación de la capacidad antioxidante (tanto por uno) en distintas variedades de judía verde en las distintas etapas del proceso: escaldado y congelación (lenta (aire estático), rápida (aire forzado) y ultrarrápida (nitrógeno líquido)).

	Usambara	Modesto	Dominio	Valentino	Santander
Variación por escaldado	10,3	3,4	5,8	-0,2	3,4
Variación por cong. aire estático	0,7	1,5	0,2	0,5	2,9
Variación por cong. aire forzado	0,8	1,7	0,8	0,7	0,6
Variación por cong. N₂	0,5	1,5	0,5	1	2,9

El incremento de la capacidad antioxidante detectado después del escaldado y observado también en el estudio de Paciulli *et al.* (2015) realizado en espárragos, calabacines y judías verdes, sugieren otras tres posibilidades además de la liberación de las sustancias debido a la destrucción térmica de las paredes celulares y de los orgánulos celulares (mencionada anteriormente), para este fenómeno:

- la producción de antioxidantes liberadores de radicales por reacciones termoquímicas
- la supresión de la capacidad de oxidación de los antioxidantes por la inactivación térmica de enzimas oxidativas y
- la producción de nuevos antioxidantes o la formación de nuevos compuestos tales como los productos con capacidad antioxidante procedentes de la reacción de Maillard (Morales y Babel, 2002)

En este mismo estudio también se detecta una mayor capacidad antioxidante tras la cocción (figura 6.3.) que en las muestras crudas. Sin embargo, la congelación produce una disminución en este parámetro, hecho que no sucede en nuestras muestras.

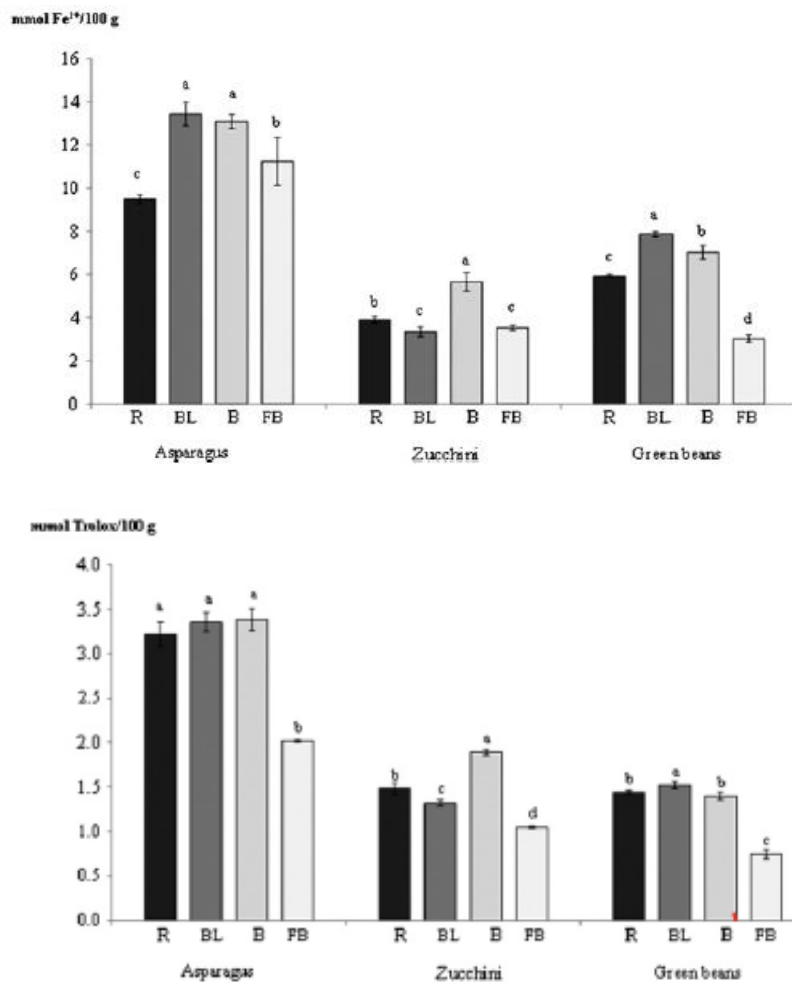


Figura 6.3. Capacidad antioxidante (mmol Fe²⁺/100 g) y (mmol Trolox/100g) en espárragos, calabacines y judía verdes. R: crudo, BL: escaldado, B: cocido, FB: cocido y congelado (Paciulli *et al.*, 2015).

6.5.4. Determinación de ácido ascórbico

En la tabla 6.20 se presentan los datos de la determinación de ácido ascórbico para las distintas variedades de judía verde, en fresco, tras su escaldado y tras su escaldado y congelación. Los análisis fueron realizados según el apartado 5.8.

Al igual que en el resto de parámetros químicos el contenido en ácido ascórbico en las muestras sin procesar fue significativamente inferior al de las muestras escaldadas y congeladas. Además, no se detectaron diferencias significativas entre las variedades, obteniendo valores para el contenido de vitamina C entre 2-3 mg/100 g.p.f. En un estudio realizado por Rigaux *et al.* (2016) las concentraciones de vitamina C en distintas variedades de judía verde variaban entre 4,1 y 30,3 mg/100 g con una media de 17 mg/100 g. La base

de datos de composición de alimentos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos recoge un valor medio de 12,2 mg/100 g y Moreiras *et al.* (2013) un valor de 24 mg/100 g.

Durante la realización de las primeras determinaciones ya se detectó que podríamos no estar aplicando el protocolo de análisis idóneo ya que en las muestras frescas se obtenían valores muy similares y muy bajos y además éstos aumentaban significativamente en las muestras escaldadas. Por ello, se decidió realizar la extracción con ácido acético y metafosfórico con el fin de disponer de un medio ácido que minimizase las posibles reacciones enzimáticas de degradación de la vitamina C ya desde el inicio. Los resultados fueron idénticos a los obtenidos con la extracción con agua destilada por lo que se descartó la hipótesis de la destrucción enzimática.

El aumento en el contenido en vitamina C tras el escaldado lógicamente no se corresponde con la destrucción térmica que sufre esta vitamina y especialmente en medios poco ácidos como es el caso de las judías verdes (pH 5,7-6,2). Así, Rigaux *et al.* (2016) establecieron una pérdida de vitamina C del 66 % tras el escaldado y de 87 % tras la esterilización de judías verdes. Teniendo en cuenta estos datos y presuponiendo una pérdida por escaldado del 66 % para la variedad Usambara el contenido en vitamina C de las muestras frescas estaría en torno a 22 mg/100 g.p.f.

Las concentraciones de vitamina C tras el almacenamiento en congelación no variaron respecto a las muestras escaldadas y con escasas diferencias entre métodos y variedades con un mínimo de 5,9 mg/100 g para la variedad Modesto congelada por aire forzado y un máximo de 9,8 mg/100 g para la variedad Santander congelada por nitrógeno.

Tabla 6.20. Ácido ascórbico (mg/100 g.p.f) en distintas variedades de judía verde en fresco, tras su escaldado y tras su escaldado y congelación (lenta (aire estático), rápida (aire forzado) y ultrarrápida (nitrógeno líquido).

Variedad	Fresca	Escaldada	Congelación		
			Aire estático	Aire forzado	N ₂
Usambara	2,4±0,3a	9,5±1,2bAB	9,4±0,3b	9,6±1,0bA	8,7±1,8b
Modesto	2,8±0,2a	6,8±0,4bcB	7,7±0,6bc	5,9±1,3bC	8,0±0,7c
Dominio	2,6±0,4a	7,9±0,6bAB	8,1±0,9b	7,6±0,3bAC	7,8±0,8b
Dior	2,0±0,2a	9,1±0,6bAB			
Valentino	2,9±0,3a	9,9±1,9cA	8,0±0,4bc	7,3±0,3bBC	9,1±0,3bc
Santander	2,4±0,6a	9,3±0,3aC	9,6±1,2b	8,7±0,3bAB	9,8±0,9b

Al igual que para los parámetros anteriores en la tabla 6.21 se presenta la variación en tanto por uno, que causan cada uno de los procesos analizados: escaldado y congelación con aire estático, forzado y nitrógeno.

Tabla 6.21. Variación de ácido ascórbico (tanto por uno) en distintas variedades de judía verde en las distintas etapas del proceso: escaldado y congelación (lenta (aire estático), rápida (aire forzado) y ultrarrápida (nitrógeno líquido)).

	Usambara	Modesto	Dominio	Dior	Valentino	Santander
Variación por escaldado	3	1,5	2,1	3,5	2,5	0,2
Variación por cong. aire estático	0	-0,1	0		-0,2	2,3
Variación por cong. aire forzado	0	-0,1	0		-0,3	1,9
Variación por cong. N₂	0	0,2	0		0	2,3

Como ya se ha reseñado, tras el escaldado de las judías se detectó mucha mayor cantidad de vitamina C en todas las variedades lo que puede atribuirse como en el resto de parámetros químicos a la liberación de esta sustancia debido a la destrucción térmica de las paredes celulares y de los orgánulos celulares. Los procesos de congelación no modifican el contenido de vitamina C respecto a las muestras escaldadas.

Los métodos para la determinación de vitamina C son múltiples e incluyen métodos enzimáticos, químicos (valoración iodimétrica y el método del indofenol), electroquímicos: (voltamperométricos), espectroscópicos (espectrofotométricos y fluorimétricos), fluorimétricos y cromatográficos (cromatografía líquida de alta eficacia (HPLC) con distintos detectores (UV-VIS/DAD, fluorimétrico y MS)). Entre ellos, los más utilizados son la HPLC y la titulación volumétrica de óxido-reducción (p.e. método del indofenol empleado en nuestro estudio). La HPLC tiene la ventaja de ofrecer una gran precisión de los resultados, pero la técnica es cara ya que se debe disponer del equipamiento necesario. Sin embargo, la titulación volumétrica de óxido-reducción es más sencilla, rápida y barata pero no es muy precisa. Aún así, tras la HPLC es el método recomendado para los extractos incoloros o débilmente coloreados de las frutas cítricas.

Viendo las deficiencias en el método de extracción que hemos utilizado, para la próxima campaña se propone una liofilización de las muestras, para maximizar la superficie de contacto con el solvente adecuado y determinar los tiempos de extracción y homogeneización óptimos así como el número de re-extracciones.

6.6. Análisis sensorial y características físico-químicas tras cocinado

En la tabla 6.22 se presentan los resultados del análisis sensorial de las muestras seleccionadas. Se excluyeron de este análisis la variedad plana Usambara y la variedad amarilla Dior al ser muy distintas al resto de las variedades. Se incluyó, sin embargo, una muestra de judía verde redonda congelada comercial (Gourmet, Miquel Alimentació Grup S.A.U, Vilamalla). Los lotes evaluados fueron los correspondientes a la congelación rápida por aire forzado ya que es la que más se asemeja al proceso industrial.

Tabla 6.22. Evaluación sensorial de distintas variedades de judía verde tras 6 meses en congelación a -20 °C y posterior cocinado (10 min a 100 °C en cocción abierta)

Parámetro	Modesto	Dominio	Valentino	Santander	Comercial
Textura en boca	5,9	5,1	5,4	5,1	5,9
Exudado	5,4	5,5	5,9	6,2	5,4
Sabor a judía	5,3	5,0	4,9	5,5	5,1
Sabores extraños	1,2	2,7	1,4	0,8	1,8
Aroma característico	3,4	3,0	4,8	3,8	3,7
Aromas extraños	1,1	1,7	1,0	0,9	1,4
Color característico	4,9	4,5	7,4	4,9	6,3
Pardeamiento	2,6	3,6	3,0	2,3	4,7
Valoración global	6,1	4,4	6,0	6,1	4,9

Los resultados nos muestran que las variedades Modesto, Santander y Valentino fueron las más apreciadas, con puntuaciones globales en torno a 6, superando a la variedad comercial (4,9). No obstante, esta calificación puede considerarse más bien baja lo que puede deberse a que los panelistas, tal y como manifestaron en las observaciones, están habituados a la judía verde fresca siendo este el estándar de calidad de referencia. Así, en todas las muestras de judía congelada resaltaban falta de aroma y sabor característico. A destacar, que ninguna de las variedades presentó sabores u olores extraños y que el nivel de pardeamiento fue bajo y bastante inferior al pardeamiento mostrado por la variedad comercial.

Si analizamos estos resultados junto a los obtenidos en la evaluación agronómica, físico-química y nutricional (tabla 6.23) observamos que la variedad Valentino fue la mejor en 6 de las 11 características evaluadas, seguida por la variedad Santander que destacó

en 5 de las 11 características siendo el rendimiento y las características organolépticas sus puntos fuertes. La variedad Dominio quedaría descartada debido a que su bajo porte no facilita la recolección mecanizada y la variedad Modesto no destacó en ninguna de las características analizadas.

Tabla 6.23. Evaluación de las distintas variedades en función de sus parámetros agronómicos, físico-químicos y nutricionales tras el proceso de congelación y la aceptación por el consumidor tras cocinado. En verde la de mejor puntuación o contenido, en naranja los valores más bajos, en negro variedad desestimada.

	Característica	Modesto	Dominio	Valentino	Santander
Cosecha	Porte		■	■	■
	Roces G2			■	■
	Taladro			■	■
	Rendimiento				■
Proceso industrial	Color		■		■
	Firmeza			■	
	Clorofila total			■	■
	Vitamina C	■			■
	Fenoles		■	■	
	Antioxidante			■	■
Consumidor	Organolépticas	■	■	■	■

Por tanto, las variedades seleccionadas tras este análisis fueron **Valentino y Santander**. Estas dos variedades fueron evaluadas tras el cocinado para determinar sus características físico-químicas y nutricionales.

En la tabla 6.24 se presenta el análisis instrumental de color y firmeza realizado a las 3 variedades de judía verde, Valentino, Santander y comercial, tras su cocinado, donde se puede observar que todos los parámetros fueron muy similares para las tres variedades analizadas.

Tabla 6.24. Coordenadas de color y firmeza (kgF) en variedades de judía verde tras almacenamiento en congelación y cocinado (10 min a 100 °C)

Variedad	Color			Firmeza
	L	a	b	
Valentino	38,94±0,96	-16,19±1,77	22,6±3,46	0,57±0,09
Santander	36,16±6,72	-15,64±1,68	24,32±3,17	0,59±0,10
Comercial	43,37±2,69	-17,22±0,38	28,67±0,74	0,55±0,23

Si comparamos estos datos con los obtenidos tras 6 meses en congelación (tabla 6.25) observamos que el cocinado sólo afecta ligeramente al color pero si que disminuye en un 30 % la firmeza. Sin embargo, aunque no se detectan variaciones instrumentales significativas en el color, si que la observación visual de las variedades Valentino y Santander (figura 6.4.) muestra un color verde más oscuro e intenso en la primera.

Tabla 6.25. Variación (%) de color y firmeza en variedades de judía verde congelada tras cocinado (10 min a 100 °C)

Variedad	Color			Firmeza
	L	a	b	
Valentino	6	6	27	-34
Santander	-6	15	9	-30

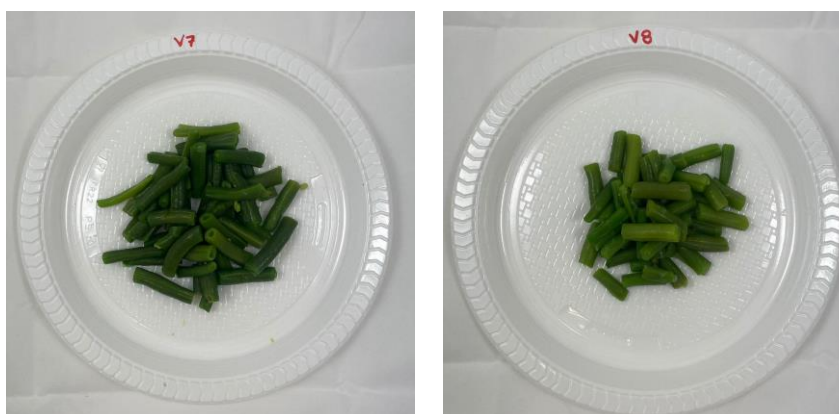


Figura 6.4. Variedades Valentino (izda.) y Santander (dcha.) tras la cocción.

En la tabla 6.26 se presenta el análisis químico realizado a las 3 variedades de judías verdes: clorofila total, ácido ascórbico, fenoles y capacidad antioxidante. La variedad

comercial mostró un mayor contenido de clorofila y vitamina C mientras que Valentino obtuvo un contenido en fenoles y una actividad antioxidante mayor.

Tabla 6.26. Clorofila total, fenoles, capacidad antioxidante y ácido ascórbico (mg/100 g.p.f), en variedades de judía verde tras almacenamiento en congelación y cocinado (10 min a 100 °C)

Variedad	Clorofila total	Fenoles	Cap. antioxidante	Ac. ascórbico
Valentino	14,46±1,31	7,06±3,11	11,76±3,53	2,68±0,29
Santander	9,88±1,29	3,41±2,21	9,42±1,53	2,19±0,17
Comercial	17,1±2,74	2,93±1,64	8,37±2,07	3,64±0,33

En la tabla 6.27 se presentan las variaciones de las características químicas que provoca el proceso de cocción. Se observa que no tuvo impacto en la clorofila total para las variedades Valentino y Santander mientras que aumentó en la variedad comercial. Los fenoles y la vitamina C disminuyeron en todas las variedades especialmente en la variedad Santander. Por último, los fenoles fueron menores en la variedad comercial y en Santander y aumentaron para Valentino.

Tabla 6.27. Variación (%) en clorofila total, fenoles, capacidad antioxidante y ácido ascórbico en variedades de judía verde congelada tras cocinado (10 min a 100 °C)

Variedad	Clorofila total	Fenoles	Cap. antioxidante	Ac. ascórbico
Valentino	0	-65	24	-63
Santander	1,8	-82	-56	-75
Comercial	35	-78	-20	-18

7. CONCLUSIONES

- La caracterización de las seis variedades de judía verde comerciales a nivel agronómico ha permitido determinar que las variedades más productivas en las condiciones edafo-climáticas de Tauste son Usambara y Santander, respectivamente, con una producción ligeramente inferior a la media en Aragón.
- Todas las variedades se podrían adaptar a la transformación industrial ya que su curvatura es mínima y son bastante homogéneas en longitud y calibre siendo Modesto la que destaca en ambos parámetros. Dominio podría dificultar la recolección mecanizada debido al bajo porte de la planta.
- Respecto al color verde característico, éste se intensifica en el escaldado y no varía durante la congelación ni el almacenamiento ni tampoco se detecta pardeamiento tras la cocción.
- La firmeza disminuye tras el procesado industrial en un 85 % y tras la cocción en torno a un 30% lo que supone una pérdida media de un 90 % de fresco a cocinado. Esta reducción de la firmeza se considera adecuada ya que ha sido bien valorada durante la evaluación organoléptica.
- El resultado del análisis sensorial tras 6 meses de almacenamiento en congelación y posterior cocinado muestra que las variedades Santander y Valentino son las más apreciadas, superando a la variedad comercial, pero con una calificación más bien baja, acorde a unos panelistas habituados a la judía fresca.
- Respecto a los parámetros químicos la variedad Valentino posee las mejores características en fresco, sin embargo, tras el proceso de escaldado, congelación y almacenamiento es la variedad Santander la que destaca, y tras la cocción Valentino supera ligeramente a Santander. Ambas variedades serían las seleccionadas para futuras campañas por sus características agronómicas, nutricionales y organolépticas y también por su buen comportamiento en el procesado industrial.
- A pesar de que no era uno de los objetivos del estudio se ha podido detectar que el método de extracción utilizado para la determinación de los parámetros químicos se podría optimizar liofilizando las muestras, aumentando el tiempo de extracción y homogeneización y el número de re-extracciones. No obstante, dado que las dificultades analíticas afectaron a todas las muestras por igual podemos aceptar que el análisis comparativo de variedades es fiable.

8. BIBLIOGRAFIA

- AINIA. (s.f.). *Mejores técnicas disponibles en la industria de elaborados vegetales*. Instituto Tecnológico Agroalimentario. <https://prtr.es.es/data/images/La%20industria%20de%20elaborados%20vegetales-AB08EBAE53A6F06F.pdf>
- Agriculture Research Service. (2020). *Fooddata central*. Green beans, raw. US Department of Agriculture. <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/1103337/nutrients>
- Aguiló-Aguayo, I., Oms-Oliu, G., Martín-Belloso, O., & Soliva-Fortuny, R. (2014). Impact of pulsed light treatments on quality characteristics and oxidative stability of fresh-cut avocado. *LWT - Food Science and Technology*, 59(1), 320-326. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.04.049>
- Asociación Española de Fabricantes de Vegetales Congelados (ASEVEC). (2024). *Quiénes somos*. <https://www.hoyverdurascongeladas.com/la-asociacion/quienes-somos/>
- Barreiro-Elorza, P., & Ruiz-Altisent, M. (1996). Propiedades mecánicas y calidad de frutos. Definiciones y medidas instrumentales. *Fruticultura Profesional*, 77, 48-51. <https://oa.upm.es/5379/>
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, 28(1), 25-30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)
- Carravedo-Fantova, M., & Mallor-Giménez, C. (2008). *Variedades de legumbres autóctonas conservadas en el Banco de Germoplasma de Especies Hortícolas de Zaragoza*. Centro de Investigación de Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA), Gobierno de Aragón. <http://hdl.handle.net/10532/2952>
- Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón. (2024). *Historia, Misión, Visión y Objetivos*. <https://www.cita-aragon.es/historia-mision-vision-y-objetivos/>
- Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón. (2024). *Banco de Germoplasma*. <https://www.cita-aragon.es/bancos-de-germoplasma/>
- Cubas, C., Lobo, M. G., & González, M. (2008). Optimization of the extraction of chlorophylls in green beans (*Phaseolus vulgaris* L.) by N,N-dimethylformamide using response surface methodology. *Journal of Food Composition and Analysis*, 21, 125-133. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0889157507001093>

- De-Fuentes-Cortés, R. (1969). Recolección y acondicionamiento mecánicos de judías verdes. *Hojas divulgadoras Ministerio de Agricultura*, 24-1969. https://mapa.gob.es/app/biblioteca/hojas-divulgadoras/hojas_materia.asp?materiaid=ZZ0043254&materia=PHASEOLUS
- El-Nafad, R.Y., El-Bastawesy, A.A., Ghoniem, G.A. & El-Rafai, A.A. (2022). Effect of Blanching Process and Frozen Storage on Bioactive Compounds and Some Quality Parameters of Organic and Conventional Green Bean. *Journal of Food and Dairy Sci. Mansoura Univ.*, 13(8), 125-131. <https://dx.doi.org/10.21608/jfds.2022.150884.1069>
- Espinosa-González, Y. (2022). *Evaluación de los efectos directos e indirectos del fuego en especies de alta montaña*. [Trabajo Fin de Grado, Universidad de La Laguna]. RIULL. <https://riull.ull.es/xmlui/handle/915/29111>
- Food and agriculture data (2024). *Crops and livestock products*. Other beans, green. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
- Instituto Agroalimentario de Investigación Mixta Agroalimentario de Aragón. (s.f.). *Objetivos, misión y valores del IA2*. IA2UNIZAR. Consultado el 15 de febrero de 2024. <https://ia2.unizar.es/objetivos-mision-y-valores-del-ia2>
- Jiménez-Monreal, A. M., García-Diz, L., Martínez-Tomé, M., Mariscal, M., & Murcia, M. A. (2009). Influence of cooking methods on antioxidant activity of vegetables. *Journal of Food Science*, 74, 97-103. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2009.01091.x>
- Llanos-Company, M. (1998). El cultivo de judías verdes en España. *Vida Rural*, 74, 86-89. <https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/Biblioteca/Revistas/pdf%5Fvrural%2FVrural%5F1998%5F74%5F86%5F89.pdf>
- Liu, W. (2017). *Antioxidantes en magaya de manzana: extracción, caracterización y encapsulación en nanopartículas de origen vegetal*. [Trabajo Fin de Máster, Universidad de Oviedo]. RUO. <http://hdl.handle.net/10651/43650>
- López-Aranda, J.M. & Rodríguez-Del-Rincón. (1976). Variedades de judía para verdeo. *Hojas Divulgadoras Ministerio de Agricultura*, 14-76 H D. https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1976_14.pdf
- A.Mascarell Semillas.(2024). *Judía Modesto*. <https://www.mascarellsemillas.com/es/judias/464-judia-wilson.html>

- Mallor-Giménez, C. (2016). *Conservación y Recuperación de Variedades Locales de Legumbres en el Banco de Germoplasma de Especies Hortícolas de Zaragoza* [Sesión de conferencia]. Jornadas sobre el papel de las legumbres en la alimentación y la agricultura, Zaragoza, España. <http://hdl.handle.net/10532/3519>
- Mazzeo, T., Paciulli, M., Chiavaro, E., Visconti, A., Fogliano, V., Ganino, T., & Pellegrini, N. (2015). Impact of the industrial freezing process on selected vegetables—Part II: Colour and bioactive compounds. *Food Research International*, 75, 89-97. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.05.036>
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. (s.f.). *Verduras y hortalizas. Judía verde*. https://www.mapa.gob.es/es/ministerio/servicios/informacion/jud%C3%ADa%20verde_tcm30-102702.pdf
- Morales, F. J., & Babel, M.-B. (2002). Antiradical efficiency of Maillard reaction mixtures in a hydrophilic media. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, 2788-2792. <https://doi.org/10.1021/jf011449u>
- Moreiras, O, Carbajal, A., Cabrera, L & Cuadrado, C. (2013). *Tablas de composición de alimentos: guía de prácticas*. (16ª ed.). Pirámide.
- Paciulli, M., Ganino, T., Pellegrini, N., Rinaldi, M., Zaupa, M., Fabbri, A., & Chiavaro, E. (2015). Impact of the industrial freezing process on selected vegetables. Part I: Structure, texture and antioxidant capacity. *Food Research International*, 74, 329-337. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.04.019>
- Patras, A., Tiwari, B.K. & Brunton, N.P. (2011). Influence of blanching and low temperature preservation strategies on antioxidant activity and phytochemical content of carrots, green beans and broccoli. *Food Science and Technology*, 44, 299-306
- Pérez-Barbeito, M (2008). *Mejora genética de poblaciones de judía verde (Phaseolus vulgaris L.) y su resistencia a las principales enfermedades*. [Tesis doctoral. Facultad de Biología. Universidad de Santiago de Compostela]. Minerva. <http://hdl.handle.net/10347/2499>
- Pérez, M., Domínguez-López, I., & Lamuela-Raventós, R. M. (2023). The chemistry behind the Folin–Ciocalteu method for the estimation of (poly)phenol content in food: Total phenolic intake in a Mediterranean dietary pattern. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 71(46), 17543-17553. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.3c04022>

- Proulx, E., Yagiz, Y., Nunes, M., & Emond, J.P. (2010). Quality Attributes Limiting Snap Bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Postharvest Life at Chilling and Non-chilling Temperatures. *HortScience*, 45(8), 1238-1249. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.45.8.1238>
- Rasbak, (2005). *Phaseolus vulgaris* with *Botrytis cinérea*. Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Stamboon_met_Grauwe_schimmel_%28Phaseolus_vulgaris_Botrytis_cinerea%29.jpg
- Rasbak, (2009). *Sclerotinia sclerotiorum* at *Phaseolus vulgaris*. Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sclerotinia_sclerotiorum_at_Phaseolus_vulgaris_scleroti%C3%ABnrot_stamsperzieboon.jpg
- Reche-Mármol, J. (2005). *Cultivo de la judía verde en invernadero*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. https://www.mapa.gob.es/app/materialVegetal/docs/jverde_invernadero_MAPA.pdf
- Registro de productos fitosanitarios (2024). Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Consultado el 28 de septiembre de 2024. <https://servicio.mapa.gob.es/regfiweb>.
- Rigaux, C., Georgé, S., Albert, I., Renard, C.M.G.C., & Carlin, F. (2016). A mechanistic and probabilistic model estimating micronutrient losses in industrial food processing: Vitamin C and canned green beans, a case-study. *LWT Food Science and Technology*, 69, 236-243. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.01.051>.
- Rodríguez-Eguílaz, J. J. (2007). *Guía de cultivo de: judía verde*. ITG agrícola. Ministerio de Agricultura. <https://www.mapa.gob.es/app/MaterialVegetal/docs/ITGA.pdf>
- Sistema de Información Agroclimática para el Regadío. Consulta de datos. <https://eportal.mapa.gob.es/websiar/SeleccionParametrosMap.aspx?dst=1>
- Semillas vivas. *Judía verde dominio*. <https://www.semillasvivas.bio/es/judia-verde/8387-semillas-judia-verde-domino.html>
- Schudel, S., Prawiranto, K., & Defraeye, T. (2021). Comparison of freezing and convective dehydrofreezing of vegetables for reducing cell damage. *Journal of Food Engineering*, 293, 110376. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110376>
- Statista (2024). <https://es.statista.com/>

- Tarrago-Trani, M. T., Phillips, K. M., & Cotty, M. (2012). Matrix-specific method validation for quantitative analysis of vitamin C in diverse food. *Journal of Food Composition and Analysis*, 26, 12-25. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2012.03.004>
- Van der Sman, R. G. M. (2020). Impact of processing factors on quality of frozen vegetables and fruits. *Food Engineering Reviews*, 12, 399-420. <https://doi.org/10.1007/s12393-020-09216-1>
- Vegetales by Bayer. (2024). *Judía Valentino*. [VALENTINO Judía SEMINIS \(bayer.com\)](https://www.bayer.com/vegetales/judia-valentino)
- Vilmorin (2021). Santander. Dwarf bean processing market. A mid fine green snapbean. https://www.vilmorinmikado.fr/sites/france.sam/files/documentations/files/VILMORIN%20BROCHURE%20INDUSTRIE%20POIS_FLAGEOLETS-HARICOTS%202023%20BD.pdf
- Yamaguchi, T., Mizobuchi, T., Kaijawa, R., Kawashima, H., Miyabe, F., Terao, J., Takamura, H., Matoba, T. (2001). Radical scavenging activity of vegetables and the effect of cooking on their activity. *Food Sci Techno Res* 7(3), 250-257. <https://doi.org/10.3136/fstr.7.250>
- Zell, H. (2010). *Phaseolus vulgaris*, *Fabaceae*, *Common Bean*, *habitus*. Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Phaseolus_vulgaris_001.JPG.