

Trabajo Fin de Grado

Evaluación agronómica y aptitud comercial para la industria del congelado de variedades de brócoli (*Brassica oleracea var. italica*).

Agronomic evaluation and commercial aptitude for the freezing industry of varieties of broccoli (*Brassica oleracea var. italica*).

Autor:

Andrea Garza Charneca

Directores:

Pablo Bruna Lavilla
Celia Montaner Otin

Escuela Politécnica Superior de Huesca
Universidad de Zaragoza
2024

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, que me dieron el privilegio de criarme en el campo y me enseñaron a amarlo.

A mi hermana, por ser mi mejor amiga a pesar de lo distintas que somos.

A mis abuelos, el que me pueden apoyar día a día, las que aunque no lo puedan expresar pero sé que lo hacen y a quién lo hizo antes de marcharse.

A toda la gente que he conocido en Huesca y ha hecho de la Universidad un sitio especial.

A todos mis amigos y familiares que me acompañado en esta importante etapa.

Al Centro de Transferencia Agroalimentaria del Gobierno de Aragón y las diversas empresas del sector que me han permitido trabajar con ellos.

RESUMEN

El brócoli (*Brassica oleracea* L. var *itálica*) es un cultivo que, a pesar de algunas recesiones, cada año ocupa más superficie en España gracias a comunidades como Aragón. De hecho, España es uno de los principales productores y también exportadores, pues su gran producción tiene como destino principal la transformación y posterior comercialización a países del norte de Europa. Por ello, uno de los objetivos de este trabajo es, tanto profundizar en la importancia del brócoli en Aragón, ya que experimentó en 2016 una popularidad excepcional pero en los últimos años ha notado ciertas variaciones; como conocer los tipos de parcelas en los que se cultiva, entre las que predominan las parcelas de regadío de los municipios de la Provincia de Zaragoza.

El interés por este cultivo radica en el importante valor nutritivo que tiene, lo cual le permite calificarse como “alimento funcional” y lo vincula con el Objetivo de Desarrollo Sostenible 2 “Hambre Cero”. Por ello también existen investigaciones de mejora genética que tratan de crear variedades que resistan condiciones de cultivo adversas, ya que trabajan con la resistencia a factores abióticos y bióticos, el cambio climático, el aumento de la productividad y la calidad de las pellas. Así se consigue conocer las necesidades de la planta antes de cultivar y valorar si se está fomentado la “Producción Sostenible” que dicta el Objetivo de Desarrollo Sostenible 12.

Para poder enviar brócoli a la industria congeladora, este debe estar desprovisto de tallo, tener una pella verde, compacta y de peso superior a los 600 g., ser de grano fino y no presentar manchas. Si cumple estas características puede ser cosechado, troceado y congelado para su posterior venta. Sin embargo, estas características difieren mucho entre variedades y derivan en que el rendimiento entre el peso recolectado y el peso de los floretes troceados sea distinto entre variedades. Por ello, el otro objetivo de este trabajo es determinar cuáles son las características más importantes que debe presentar una variedad de brócoli para obtener una buena producción, las cuales han resultado ser: tener un largo ciclo de maduración, una baja altura de recolección, un tronco con diámetro ancho y una alta compactidad. En consecuencia, de entre las 11 variedades la que mejor rendimiento de troceado le ofrece a la industria congeladora ha resultado ser BRO03184 y no la testigo Parthenon.

Palabras clave: brócoli, *Brassica oleracea*, industria del congelado, rendimiento del troceado.

ABSTRACT

Broccoli (*Brassica oleracea* L. var *italica*) is a crop that, despite some recessions, occupies more and more surface area in Spain every year thanks to regions such as Aragon. In fact, Spain is one of the main producers and also exporters, as its large production is mainly destined for processing and subsequent marketing to northern European countries. For this reason, one of the aims of this work is both to delve into the importance of broccoli in Aragon, since it experienced exceptional popularity in 2016 but in recent years it has noticed certain variations; and to know the types of plots in which it is grown, among which the irrigated plots of the municipalities of the Province of Zaragoza predominate.

The interest in this crop lies in the important nutritional value it has, which allows it to be classified as a "functional food" and links it to Sustainable Development Goal 2 "Zero Hunger". For this reason, there is also genetic improvement research that tries to create varieties that resist adverse growing conditions, as they work with resistance to abiotic and biotic factors, climate change, increased productivity and quality of the heads. This makes possible to know the needs of the plant before growing and to assess whether the "Sustainable Production" dictated by Sustainable Development Goal 12 is being promoted.

In order to send broccoli to the freezing industry, it must be devoid of stem, have a green skin, be compact, weigh more than 600 g., be fine-grained and have no spots. If it meets these characteristics, it can be harvested, chopped and frozen for later sale. However; these characteristics differ greatly between varieties and result in variations between varieties in the yield between the weight harvested and the weight of the florets. Therefore, the other aim of this work is to determine which are the most important characteristics that a variety of broccoli must present to obtain a good production, which have turned out to be: having a long ripening cycle, a low harvesting height, a trunk with a wide diameter and a high compactness. Consequently, among the 11 varieties, the one that offers the best cutting yield to the freezing industry has turned out to be BRO03184 and not the Parthenon control.

Keywords: broccoli, *Brassica oleracea*, broccoli industry, frozen, slicing yield.

ÍNDICE GENERAL	4
ÍNDICE DE FIGURAS.....	6
ÍNDICE DE TABLAS	9

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN	11
1.1. EL BRÓCOLI	11
1.1.1. Origen y taxonomía	11
1.1.2. Descripción botánica.....	13
1.1.3. Valor nutritivo.....	15
1.2. MEJORA GENÉTICA EN BRÓCOLI	16
1.3. SITUACIÓN DEL CULTIVO DEL BRÓCOLI EN ESPAÑA	19
1.4. EL BRÓCOLI EN LA INDUSTRIA	22
1.4.1. La recolección.....	22
1.4.2. El proceso de troceado	24
1.4.3. La industria congeladora.....	30
1.5. NECESIDADES AGRONÓMICAS DEL BRÓCOLI.....	39
1.5.1. Exigencias edafoclimáticas: temperatura, agua, humedad, y suelo.	39
1.5.2. Labores previas a la siembra	40
1.5.3. Abonado y fertilización.....	40
1.5.4. Siembra o trasplante.....	41
1.5.5. Plagas, enfermedades, malas hierbas o fisiopatías	43
2. OBJETIVOS.....	51
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	52
3.1. EL MATERIAL VEGETAL Y SU EVOLUCIÓN	52
3.2. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ENSAYO	59
3.3. DISEÑO DEL EXPERIMENTO	66
3.4. PARÁMETROS EVALUADOS	68
3.4.1. Criterios de calidad para la recolección	68
3.4.2. Caracterización de los frutos: descriptores convencionales	69

3.6. DISEÑO DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	74
3.7. DISEÑO DEL ANÁLISIS DE IMPORTANCIA DEL BRÓCOLI EN ARAGÓN	75
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	76
4.1. EVALUACIÓN DEL MATERIAL VEGETAL.....	76
4.1.1. Parámetros productivos	76
4.1.2. Valoración de los descriptores convencionales.....	79
4.1.3. Relación entre parámetros.....	96
4.2. SELECCIÓN DE LAS LÍNEAS	98
4.3. ANÁLISIS DEL CULTIVO DE BRÓCOLI EN ARAGÓN	100
3.5.1. Evolución de la superficie dedicada al brócoli en Aragón.....	100
3.5.2. Distribución geográfica	103
3.5.3. Importancia económica.....	106
5. CONCLUSIONES	108
6. BIBLIOGRAFÍA.....	109

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Resumen de la filogenia de de las Brassicaceas, según la división de ramas de cada clado de Liu et al. (2010), Beilstein (2006), Franzke (2011) y Huang (2015), y Nikolov (2019), de adentro hacia afuera respectivamente (Liu, L.M. et al, 2021).	12
Figura 2. Cosechadora de brócoli. (Fuente: Navarra Capital).	23
Figura 3. Planta de troceado de brócoli (Seryagrhis SL, Zaragoza) (Fuente: elaboración propia).	24
Figura 4. Destrío de brócolis en mal estado (Fuente: elaboración propia).....	25
Figura 5. Identificación de las descargas de brócoli en el centro de troceado (Fuente: elaboración propia).	25
Figura 6. Pala y tolva de carga de materia prima (Fuente: elaboración propia).....	26
Figura 7. Cinta transportadora para la entrada de brócoli en la cadena (Fuente: elaboración propia).	26
Figura 8. Platos cóncavos para la introducción del brócoli en la cortadora (Fuente: elaboración propia).	27
Figura 9. Descorazonadora manual de brócoli (Fuente: elaboración propia).	27
Figura 10. Cinta transportadora de restos vegetales (Fuente: elaboración propia).	28
Figura 11. Brotes de brócoli tras el troceado a cuchillo (Fuente: elaboración propia)..	28
Figura 12. Cinta transportadora para la salida de brócoli terminado (Fuente: elaboración propia).	29
Figura 13. Desechos tras el troceado de brócoli (Fuente: elaboración propia).	29
Figura 14. Aspecto de los floretes tras el troceado (Fuente: elaboración propia).	30
Figura 15 . Diagrama de flujo simplificado del proceso de congelado de brócoli.....	31
Figura 16. Restos vegetales inofensivos (MVE) y floretes mal troceados eliminados durante la inspección visual y el acondicionado en la industria congeladora (Fuente: elaboración propia).	33
Figura 17. Brócoli sobremaduro troceados eliminados durante la inspección visual y el acondicionado en la industria congeladora (Fuente: elaboración propia).	33
Figura 18. Brócoli con coloración amarilla eliminado durante la inspección visual y el acondicionado en la industria congeladora (Fuente: elaboración propia).	34
Figura 19. Troceado en calibres irregulares, sometidos a medición en la industria congeladora (Fuente: elaboración propia).....	34
Figura 20. Esquema del sistema de congelación según el Instituto Tecnológico Agroalimentario (Fuente: AINIA).	36
Figura 21. Trasplantadora automática (Fuente: Ferrari Growtech).....	42

Figura 22. Oruga de la col (Fuente: MAPA).	43
Figura 23. Mosca blanca (Fuente: INTIA).	44
Figura 24. Pulgón ceroso (Fuente: MAPA).	44
Figura 25. Polilla de la col (Fuente: INTIA).	45
Figura 26. Mildiu. (Fuente: MAPA).	45
Figura 27. Mancha negra (Fuente: INTIA).	46
Figura 28. Mancha anular (Fuente: MAPA).	46
Figura 29. Podredumbre negra.	47
Figura 30. Jaramago. (Fuente: elaboración propia).	47
Figura 31. Mastuerzo (Fuente: elaboración propia).	47
Figura 32. Tallo hueco por <i>Hellula hundalis</i> .	49
Figura 33. Inserción de bráctea en la pella. (Fuente: elaboración propia).	49
Figura 34. Abotonamiento de la pella (Fuente: elaboración propia).	50
Figura 35. Coloración de la pella (Fuente: elaboración propia).	50
Figura 47. Fin del estado 0, según la codificación BBCH.	56
Figura 48. Primer tercio del estadio 1, según la codificación BBCH.	57
Figura 49. Fin del estadio 1, según la codificación BBCH.	57
Figura 50. Estadio 3, según la codificación BBCH.	57
Figura 51. Estadio 4, según la codificación BBCH.	58
Figura 52. Estadio 6, según la codificación BBCH.	58
Figura 53. Parcela de ensayo según SIGPAC.	59
Figura 54. Vista de la parcela de ensayo.	59
Figura 55. Trasplantadora manual de brócoli (Fuente: elaboración propia).	65
Figura 56. Separación entre filas de siembra.	67
Figura 57. Esquema de la disposición de las variedades en el ensayo.	67
Figura 58. Disposición de las variedades en la parcela de ensayo.	67
Figura 59. Esquema según IPGRI (1990) de la altura de recolección ("Height to apex").	70
Figura 60. Medida de la altura de recolección (Fuente: elaboración propia).	70
Figura 61. Medida del diámetro del tronco (Fuente: elaboración propia).	71
Figura 62. Esquema según IPGRI (1990) de la altura de la cabeza ("Head lenght").	71
Figura 63. Medida de la altura de la cabeza (Fuente: elaboración propia).	72
Figura 64. Esquema según IPGRI (1990) del arco ("Head width").	72
Figura 65. Medida del arco de la pella (Fuente: elaboración propia).	72
Figura 66. Peso con tronco (Fuente: elaboración propia).	73
Figura 67. Peso sin tronco (Fuente: elaboración propia).	73

Figura 68. Peso del troceado (Fuente: elaboración propia).....	74
Figura 69. Producción de brócoli sin tronco recogido en campo para congelado y producción de material vegetal comercializable, expresados por hectárea.	78
.....	80
Figura 70. Representación de los DDT medios de cada variedad.....	80
Figura 71. Representación de la Altura de recolección medio de cada variedad.....	82
.....	84
Figura 72. Representación de la Altura de recolección medio de cada variedad.....	84
Figura 73. Representación de la Compacidad medio de cada variedad.....	85
Figura 74. Representación de la Compacidad medio de cada variedad.....	87
Figura 75. Representación de la Altura de la cabeza media de cada variedad.	88
Figura 76. Representación del Arco de la cabeza medio de cada variedad.	89
Figura 77. Representación del Peso de recolección en fresco medio de cada variedad.	91
.....	91
Figura 78. Representación del Peso sin tronco medio de cada variedad.	92
Figura 79. Representación del Peso del troceado medio de cada variedad.	94
Figura 80. Representación del Rendimiento de troceado medio de cada variedad.	95
Figura 81. Evolución de la superficie de secano y de regadío cultivada en Aragón desde 2015 hasta 2022 (Datos: Anuario de Estadística Agrario).	101
Figura 82. Parcelas declaradas de brócoli en Aragón en 2023 (Fuente: elaboración propia con datos de PAC).	103
Figura 83. Brócoli cultivado en Valdejalón (Zaragoza) en 2023.	104
Figura 84. Brócoli cultivado en Cinco Villas y Campo de Borja (Zaragoza) en 2023 (Fuente: elaboración propia con datos de PAC).....	104
.....	104
Figura 85. Brócoli cultivado en Valle del Ebro (Zaragoza) en 2023 (Fuente: elaboración propia con datos de PAC).	105
Figura 86. Brócoli cultivado en Huesca en 2023 (Fuente: elaboración propia con datos de PAC).	106
Figura 87. Evolución de precios pagados al agricultor en Aragón de 2015 hasta 2022 en millones de euros (Datos: Anuario de Estadística Agrario).	107

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Evolución de las hortalizas desde 2012 hasta 2022 en España (Datos: MAPA ² , 2023)	20
Tabla 2. Destino de la producción de hortalizas y de brócoli (Datos: MAPA ² , 2023). ...	21
Tabla 3. Principales exportadores de coliflor y brócoli en 2022 (Datos: FAOSTAT).	21
Tabla 4. Principales productores mundiales de coles y brécol, y puesto que ocupa España en el ranking (Fuente: FAOSTAT).....	22
Tabla 5 . Tolerancia de defectos en la materia prima, en unidades/2 kg de brócoli troceado o en porcentaje, en la compañía SAAR Originia Foods.....	32
Tabla 6. Necesidades aproximadas de nutrientes del brócoli según niveles de producción (Fuente: Ramos y Pomares, 2020).....	41
Tabla 7. Nombres y casas comerciales de las variedades cultivadas.	52
Tabla 8. Parámetros relacionados con la temperatura (en °C) registrados en la estación meteorológica del Aeropuerto de Zaragoza.	61
Tabla 9. Parámetros relacionados con la precipitación (en mm) y la humedad relativa (en %) registrados en la estación meteorológica del Aeropuerto de Zaragoza.....	61
Tabla 10. Parámetros relacionados con el viento (en m/s) registrados en la estación meteorológica del Aeropuerto de Zaragoza.	61
.....	62
Tabla 11. Valores medios históricos de los factores climatológicos registrados en la estación meteorológica del Aeropuerto de Zaragoza: temperatura en °C, precipitación en mm, y humedad en %.	62
Tabla 12. Datos de textura del suelo.....	62
.....	63
Tabla 13. Parámetros de fertilidad del suelo.	63
Tabla 14. Valores de minerales, cationes y microelementos del suelo.....	63
Tabla 15. Calendario de labores agrícolas realizadas en la parcela de ensayo.	64
Tabla 16. Porcentaje de plantas que no han logrado un correcto desarrollo. Las medias seguidas por la misma letra, no presentan diferencias significativas.....	77
Tabla 17. Resultados de la estimación de la producción cosechada. Las medias seguidas por la misma no presentan diferencias significativas.	78
Tabla 18. Resultados de la estimación de la producción troceada. Las medias seguidas por la misma no presentan diferencias significativas.....	79
Tabla 19. Calendario de recolecciones de las variedades del ensayo.	81

Tabla 20. Resultados de los DDT. Las medias seguidas por la misma no presentan diferencias significativas.	81
Tabla 21. Resultados de la altura de recolección. Las medias seguidas por la misma letra no presentan diferencias significativas.	83
Tabla 22. Resultados de la granulometría. Las medias seguidas por la misma letra no presentan diferencias significativas.	84
Tabla 23. Resultados de compacidad. Las medias seguidas por la misma letra no presentan diferencias significativas.	86
Tabla 24. Resultados del diámetro del tronco. Las medias seguidas por la misma letra no presentan diferencias significativas.	87
Tabla 25. Resultados de la altura de pella. Las medias seguidas por la misma letra no presentan diferencias significativas.	89
Tabla 26. Resultados de la altura de pella. Las medias seguidas por la misma letra no presentan diferencias significativas.	90
Tabla 27. Resultados de la altura de pella. Las medias seguidas por la misma letra no presentan diferencias significativas.	91
Tabla 28. Resultados de la altura de pella. Las medias seguidas por la misma letra no presentan diferencias significativas.	93
Tabla 29. Resultados del peso troceado. Las medias seguidas por la misma letra no presentan diferencias significativas.	94
Tabla 30. Resultados del rendimiento del troceado. Las medias seguidas por la misma letra no presentan diferencias significativas.	96
Tabla 31. Coeficientes de correlación de Pearson entre todos los parámetros de todas las variedades.	98
Tabla 32. Datos relativos a la producción de brócoli en Aragón en 2022.	102
Tabla 33. Datos relativos al brócoli en 2022 en las comunidades autónomas de España.	102
Tabla 34. Municipios de la provincia de Zaragoza con más de 10 ha de brócoli declaradas en PAC 2023.	105

1. INTRODUCCIÓN

El presente ensayo se enmarca dentro de la Red Experimental Agraria del Centro de Transferencia Agroalimentaria del Gobierno de Aragón, donde se lleva trabajando varios años en el cultivo del Brócoli.

1.1. EL BRÓCOLI

1.1.1. Origen y taxonomía

La familia *Brassicaceae* o *Cruciferae* es la extensa familia a la que pertenece el brócoli (*Brassica oleracea* L. var *itálica*). Está formada, por un lado, por el grupo *Aethionemeae* y, por otro lado, por el gran grupo de tres linajes (LI, LII y LIII) que representan el núcleo de la familiar. En ese gran grupo, y en concreto en el linaje LII, encontramos la tribu *Brassiceae*, la cual recoge el género *Brassica* al que pertenece nuestro cultivo de estudio.

El nombre de la familia fue otorgado por el botánico Théodore Caruel (1830 – 1898). Ante se llamaba *Cruciferae* por el término latino *crucifer*, que significa “llevar la cruz” y hace referencia a los cuatro pétalos en forma de cruz. Después no es seguro si se nombró como *Brassica* porque era el término latino para col, o si en cambio tiene su origen en el epíteto griego *Βράσκη* (brassica) o en el celta *bresic* (col) (Pavone, P., 2021).

Anteriormente, las filogenias moleculares habían sido definidas en base al estudio de algunos plástidos como los *ndhF*, de secuencias mitocondriales, o del ribosoma nuclear ITS. Por ello tradicionalmente la familia *Brassicaceae* estaba dividida en 19 tribus y 30 subtribus, y después eran 25 tribus (Liu, L.M. et al, 2021).

Ahora, los ensayos de Liu et al. (2021), basados en el estudio de plástidos filogenómicos, han dado un nuevo enfoque al filogenias más complicadas que no habían sido resueltas antes. En base a ello, la taxonomía de la familiar se organiza en 52 tribus y 351 géneros. Aun así deja desclasificados 11 géneros, pues hay caracteres morfológicos, como la forma de la hoja y los tricomas, que varían mucho entre las

Su distribución geográfica es extensa. Se pueden encontrar *Brassicaceas* en todas las partes del mundo, excepto en la Antártida, aunque son más comunes en las regiones templadas del hemisferio norte y en menor proporción en el hemisferio sur. De hecho, los 340 géneros clasificados que comprende la familia se concentran principalmente en el Mediterráneo y en la región turco-iraní, con 260 géneros, y en Norteamérica con 98 géneros (Pavone, 2021).

Hay estudios que afirman que el origen de la familia *Brassicaceae* ocurrió hace 64 millones de años. En cambio la separación del núcleo de las *Aethionemeae* no se ha determinado si se produjo hace 40 o 42 millones o hace 15 o 11 millones de años gracias a la radiación producida durante el cambio climático del Mioceno (Pavone, P., 2021).

1.1.2. Descripción botánica

La familia *Brassicaceae* ($n = 9$) incluye tanto plantas anuales, bienales o perennes, como arbustos y rara vez lianas y árboles. Suelen ser terrestres aunque también las hay acuáticas (Pavone, P., 2021).

Las hojas son simples, alternas y sin estípulas (Blanca, G., et al, 2009), desde enteras a pinnatisectas. Tienen glabras o pelos simples y raíz axonomorfa, a veces napiforme. (Flora Ibérica, versión 2008)

Las flores son tetrámeras, actinomorfas (muy pocas zigomorfas, por ejemplo: *Iberis*, *Ionopsidium*, *Pennellia*) y hermafroditas. Tanto los sépalos como los pétalos, son libres, y estos segundos son además unguiculados y alternos (Flora Ibérica, versión 2008; Blanca, G., et al, 2009). Además los sépalos pueden ser desde erectos a patentes, y anchos o gibosos según si están en los laterales o en la base, respectivamente. Por su parte, los pétalos, amarillos o blancos, son unguiculados. Se forman inflorescencias en racimo. (Flora Ibérica, versión 2008).

Tiene estambres tetradínamos, pues de los 6 que tiene en su androceo, 4 de ellos son largos y semejantes entre ellos, y los otros 2 son cortos e iguales, rara vez se encuentran solo 2 o 4. La anteras son obtusas en el ápice (Flora Ibérica, versión 2008).

Los rizomas son de grosor variable y algunos géneros tienen glándulas papilares multicelulares o con tubérculos (Blanca, G., et al, 2009).

Encontramos tanto frutos silícuas o como silículas, que puede estar diferenciado en la porción valvar y en la porción estilar (Blanca, G., et al, 2009). La parte valvar es dehiscente y tienen dos valvas convexas, de nerviación mediana prominente. La otra porción, también denominada rostro, es indehiscente, más o menos larga, y contiene entre 0 y 3 semillas dispuestas normalmente en una fila en cada lóculo. Las semillas son generalmente esféricas, y rara vez ovoideas o aplanadas, y tienen cotiledones conduplicados (Flora Ibérica, versión 2008).

Generalmente los nectarios son simples o lobados. Se encuentran alternos con los estambres del verticilio interno, en posición lateral y denominados prismáticos, y si existen nectarios alternos con el verticilio externo tendrá posición mediana y serán ovoides, lobulados u oblongos (Flora Ibérica, versión 2008).

El ovario es sésil o a veces está sobre un corto ginóforo (Flora Ibérica, versión 2008). Es bicarpelar, bilocular, con numerosos primordios seminales de placentación parietal y estigma capitado o bilobado (Pavone, P., 2021). Tiene entre 1 y 300 óvulos (Pavone, P., 2021).

También contienen glucosinatos, que son compuestos glucosídicos que poseen azufre y células con la enzima mirosina (Pavone, P., 2021).

Por la homogeneidad que presenta la familia, casi todas tienen la misma fórmula floral $K_{2+2}, C_4, A_{2+4}, B_2$ (superior) (Pavone, P., 2021).

La polinización es entógama, es decir, se realiza solo gracias a coleópteros, abejas y polillas, siempre y cuando visiten las plantas con suficiente frecuencia, de lo contrario las plantas necesitan autopolinizarse. También las hay que la autopolinización es el único medio de fecundación que tienen, pues sus flores no se abren.

Tiene reproducción sexual o vegetativa, por lo que la morfología y anatomía de la semilla es un factor muy diferenciador dentro de la familia (Pavone, P., 2021).

Algunas de las propiedades más particulares del género *Brassica oleracea* es que son plantas perennes, con raíz axonomorfa, y tallo ramificado, carnoso y semileñoso en su base. Las hojas inferiores son pecioladas y lirado-pinatisectas; mientras que las superiores son sésiles, ovado-lanceoladas u oblongo-lanceoladas, pero ambas comparten que son carnosas, completamente glabras y contienen ceras cuticulares. Tienen racimos de 15-40 flores de 2,5 cm de diámetro, pétalos amarillos o blanquecinos, nectarios medianos ovoides y frutos subsésiles con 8 a 20 semillas de color castaño rojizo por lóculo ($2n = 18$) de 1,5-2,3 mm de diámetro, esférica y de color pardo oscuro. Son alógamas con autoincompatibilidad no total (Flora Ibérica, versión 2008; Tirilly, Y., & Bourgeois, C. M., 2002).

1.1.3. Valor nutritivo

Como consecuencia del aumento de esperanza de vida que comenzó a experimentar Japón en los años 80, el gobierno japonés impulsó el diseño de alimentos que mejoraran la salud y redujeran las enfermedades más frecuentes entre la población. Desde entonces, han ido surgiendo muchos términos distintos que han intentado definir este tipo de “alimentos funcionales”. La catedrática de Nutrición y Bromatología en la Universidad de Barcelona, M. Carmen Vidal Carou (2008), define los alimentos funcionales como “aquellos que contienen componentes biológicamente activos que ejercen efectos beneficiosos en una o varias funciones del organismo y que se traducen en una mejora de la salud o en una disminución del riesgo de sufrir enfermedades”. También una puntualización importante que da el informe “Scientific Concepts of Functional Foods in Europe Consensus Document” (1999), es que los alimentos deben presentarse en forma normal y que sus efectos beneficiosos deben ser notables en las cantidades normalmente ingeridas en la dieta.

Las *Brassicáceas* son clasificadas como alimentos funcionales, pues tienen en su composición compuestos funcionales, es decir, compuestos bioactivos que los dotan de propiedades no solo nutricionales, sino también fisiológicas. Los principales que se encuentran en este género son la vitamina C, los carotenoides, las clorofilas, los compuestos fenólicos y glucosinolatos, cuya característica común es la actividad antioxidante (Podsędek et al., 2006). No obstante se han llevado a cabo estudios que han concluido que la concentración de estas sustancias en el brócoli varía en función de las condiciones ambientales, el manejo de las labores durante todo el ciclo de cultivo,

el desarrollo fenológico, la forma de consumo y la variedad (Vallejo, F., Tomás-Barberán, F. A., y García Viguera, C., 2002).

Estas variaciones han sido objeto de estudio y se ha podido determinar, por ejemplo, que el brócoli en comparación con la col de Milán tiene mayor concentración de todos los mencionados compuestos fenólicos a excepción de los glucosinolatos, y que su actividad antioxidante es mayor. También que su biodisponibilidad en lo que a ácido ascórbico, β -caroteno, compuestos fenólicos y glucosinolatos respecta es mayor (Fernández Leon, A. M., 2015).

Teniendo en cuenta que uno de las metas del Objetivo de Desarrollo Sostenible 2: Hambre Cero (ODS 2) es erradicar el hambre y la mal nutrición, es muy relevante conocer el interés que deposita la comunidad científica en estudiar alimentos con tanto potencial como el brócoli. Una vez que se conocen los comportamientos de desarrollo de distintas variedades de brócoli se puede valorar su implementación en aquellas zonas donde la población no tiene acceso a alimentos saludables y, si su producción fuera sostenible, podría contribuir en mejorar su alimentación y en definitiva su salud.

1.2. MEJORA GENÉTICA EN BRÓCOLI

La investigación en producción vegetal permite conocer en profundidad las características de los cultivos para mejorar sus propiedades, maximizar su rendimiento y aumentar la competitividad de los productores en el mercado. De hecho, otra de las metas detalladas por el ODS 2 es invertir en agricultura, en lo que está implícita la investigación para la mejora de la capacidad productiva. La estabilidad del mercado de alimentos, tanto en precios como en reservas, puede verse mejorada gracia a la creación de nuevas variedades, diseñadas para adaptarse a la perfección a las características edafoclimáticas de regiones particulares. La diversidad genética en variedades, como en este caso del brócoli, asegura una producción resiliente lo que, con perspectiva de futuro, también garantiza el acceso a alimentos de calidad incluso a las personas más vulnerables.

Además, la producción agrícola, en un marco de crisis climática, debe implementar planes de cultivo sostenibles. Como se explica en el Objetivo de Desarrollo Sostenible 12 (ODS 12), los recursos naturales son limitados y la protección del entorno

es vital para poder sostener el sistema de alimentación de toda la población, lo cual se puede lograr y mejorar a través de la mejora genética de los cultivos. Se puede conseguir una reducción en los insumos para la producción agrícola sostenible, véanse fertilizantes y fitosanitarios, porque se puede estudiar lo que ofrece el terreno y lo que exige cada variedad de brócoli, y así escoger la que menor demanda tenga. Además, si se realiza una meticulosa elección de la misma, las posibilidades de alcanzar el estado productivo y comercializable aumentan, por lo que se reduce la cantidad de recursos que han sido desperdiciados porque no han llegado a ser un alimento.

Por ello, la expansión del brócoli en numerosos países ha fomentado los estudios de ingeniería genética en la mejora del cultivo. Todos ellos comparten el interés en el aumento de la productividad, se enfocan en la esterilidad masculina, y abordan la resistencia a enfermedades y el estrés abiótico. Un buen ejemplo de la importancia de los estudios genéticos para el perfeccionamiento y desarrollo de variedades de brócoli es el artículo redactado por Fengqing Han junto con otros autores para la revista *Horticulturae* en 2021.

En esta redacción explican que la producción de variedades híbridas F1 de brócoli para el mercado se basa en la esterilidad citoplasmática masculina (CMS) y en la esterilidad genética masculina (GMS). La CMS se sustenta en genes nucleares específicos que controlan la esterilidad y emplea marcadores como el KASP (Kompetitive Allele Specific PCR). Por el momento este método es menos eficiente, pues requiere de técnicas de cultivo de tejidos para mantener las plantas homocigóticas, pero se sigue investigando en marcadores de alta precisión como el SSR (Simple Sequence Repeat) para identificar los genes responsables de la esterilidad masculina. Por su parte, la CMS está relacionado con mutaciones en el ADN mitocondrial e impide la autofertilización. Mediante la fusión asimétrica de protoplastos se puede transferir vía materna entre especies, como los rábanos, en los que fue descubierta, y emplea tanto marcadores específicos del gen mitocondrial *orf138* responsables de la CMS, como marcadores mitocondriales adicionales que permiten distinguir entre los tipos CMS. Además, introduce genes restauradores de la fertilidad como el RFO, el cual mejora la calidad genética y la capacidad de producción de semillas híbridas (Han, F. et al, 2021).

En cuanto a factores de estrés abiótico, el que más condiciona el cultivo de brócoli es el calor. El óptimo de temperatura durante las primeras etapas de desarrollo se encuentra entre los 15°C y los 23°C puesto que muchos germoplasmas requieren de

vernalización. Aquellos germoplasmas que no la necesitan tampoco toleran temperaturas superiores a los 30°C porque conducen a formaciones indeseadas de brácteas, pellas irregulares, floretes desiguales y decoloración. La resistencia a la temperatura está determinada por numerosos locus cuantitativos. En los estudios revisados por los autores se han identificado más de 30 QTLs relacionados y, en concreto, se ha detectado una interacción epistática positiva entre QHT_C03 y QHT_C05 que justifica el 62,1% de la variación fenotípica. También se ha detectado que posiblemente QHT_C09.2 determina la correlación negativa entre el calor y la maduración. El gen más identificado en los QTL es el BoFLC3, por lo que se presenta como una alternativa para controlar la floración en función de la temperatura (Han, F. et al, 2021).

También citan que se ha demostrado que la calidad de las pellas está relacionada con los QTLs denominados BU_C04@51.5, BR_C09@49.5, HC_C09@48.8, HU_C09@48.8, HE_C09@47.7 y OQ_C09@49.5. Igualmente se han encontrado regiones genómicas en C09 de 49 Mb que albergan genes homólogos de Flowering Locus (FLC) que contribuyen al 40% de la variación en el fenotipo de las pellas (Han, F. et al, 2021).

Por su parte, explican que la aparición de tallos vacíos todavía no se encuentra controlada, pues de los 9 QTLs definidos, QHS.C09-2 justifica solo el 14,10% de las variaciones en el fenotipo (Han, F. et al, 2021).

Considerando que la acumulación de antocianinas en las inflorescencias da una coloración morada a las pellas que resulta poco atractiva en algunos mercados, mencionan que según las investigaciones son 3 QTLs los que determinan la condición, en concreto qPH. C01-2, qPH. C01-4 y qPH. C01-5 (Han, F. et al, 2021).

También es muy importante la creación de variedades resistentes a las enfermedades más frecuentes. Por ejemplo, declaran que se han desarrollado marcadores moleculares RAPD (Random amplification of polymorphic DNA) y SCAR (Sequence characterized amplified regions) para identificar locus de resistencia al mildiu, causado por el hongo *Hyaloperonospora parasitica*. En cambio, para combatir la hernia de la col, provocada por el patógeno del suelo *Plasmodiophora brassicae*, se identifica mediante marcadores específicos el gen CRa del nabo, y se incorpora al brócoli mediante hibridación distante (Han, F. et al, 2021).

Todos estos estudios persiguen conocer el comportamiento de las variedades ante diferentes escenarios, para poder adaptar el cultivo a las condiciones particulares de las regiones productivas y aun así garantizar una producción sostenible. Uno de los agentes más condicionantes es el cambio climático, por lo que resulta de gran interés económico y social invertir en el desarrollo de variedades de brócoli que nos garanticen este alimento de calidad.

1.3. SITUACIÓN DEL CULTIVO DEL BRÓCOLI EN ESPAÑA

Según el Anuario de Estadística de 2023 publicado por el MAPA, la Industria de la Alimentación posee en España más de 28.000 empresas y más de 35.000 establecimientos. En concreto, el procesado y conservación de frutas y hortalizas en 2023 recogió una inversión neta en activos materiales del 13% (respecto al conjunto de la Industria Alimentaria), sólo por debajo de la industria cárnica y la panadería (MAPA², 2023).

Por el contrario, tanto el índice de producción como el de precios son de los más bajo de los sectores según los datos que toman como año base 2015. Por un lado, el Índice de Producción tuvo una media anual en 2023 del 89,70, es decir, sufrió una bajada del 8.7% respecto a 2022, cuando la media de la industria fue de tan solo -0.8%. Por otro lado, el Índice de Precios tuvo una media del 124,6, lo que significa que respecto a 2022 subió un 11,90%, al contrario de la media nacional general de -4.7% (MAPA², 2023).

En consecuencia, los Índices de Precios de Consumo respecto al año 2021 para las hortalizas frescas y congeladas, se situaron por encima de la media de 112,20, ya que fueron de 127,40 y 128,50, respectivamente. Además, respecto a 2022 se calcula que aumentaron en un 13,50% y 13,40%, cuando el promedio para los productos alimenticios fue solo del 3,50%. Por ello disminuyó el consumo en los hogares un 2,58% y 3,12% en cada caso, ya que se consumieron de media por persona 48,92 kg de hortaliza fresca y 11,65 kg de hortaliza transformada (MAPA², 2023).

Analizando la situación en el campo, se puede notar que el total de tierra de cultivo en España baja paulatinamente, hasta contar en 2022 con 16.578,60 miles de hectáreas. De ellas, 8.978,30 miles de hectáreas fueron dedicadas a cultivos herbáceos, es decir, el 54.16%, la fracción más alta desde al menos 2012. Además la gran mayoría de cultivos herbáceos están en régimen de regadío, ya que representan el 78,67% de la superficie (MAPA², 2023).

Como se puede ver en la Tabla 1, desde 2012 hasta 2022 la evolución de la producción de hortalizas ha tenido muchas fluctuaciones. No siempre la producción por hectárea lograba ser alta y además, en muchas ocasiones, el rendimiento no era proporcional. Por ejemplo en 2022, se redujo considerablemente la superficie dedicada a hortalizas, a lo que se le sumó que la producción fue baja, pero a pesar de ello, se alcanzó el valor económico más alto desde 2012 (MAPA², 2023).

Años	Superficie (ha)	Producción (ton)	Valor (miles €)	Producción (ton/ha)	Rendimiento (€/ha)	Rendimiento (€/kg)
2012	348.359	13.282.939	5.654.821	38,13	16232,74	0,43
2013	348.853	13.201.085	6.025.736	37,84	17272,99	0,46
2014	365.385	14.626.126	5.945.398	40,03	16271,60	0,41
2015	365.178	14.772.496	7.705.933	40,45	21101,85	0,52
2016	381.940	15.456.102	7.225.476	40,47	18917,83	0,47
2017	387.895	15.544.603	8.079.272	40,07	20828,50	0,52
2018	378.294	14.992.109	7.753.854	39,63	20496,90	0,52
2019	384.392	15.857.731	7.940.650	41,25	20657,69	0,50
2020	386.084	15.180.448	7.953.472	39,32	20600,37	0,52
2021	401.711	16.392.999	9.133.516	40,81	22736,53	0,56
2022	372.159	14.290.286	9.678.359	38,40	26005,98	0,68

Tabla 1. Evolución de las hortalizas desde 2012 hasta 2022 en España (Datos: MAPA², 2023)

En España en 2022 se generaron más de 14.000.000 toneladas de hortalizas, especialmente las de fruto, como el tomate o el pimiento. En las que se clasifican como hortalizas de flor destaca precisamente el brócoli, pero suman solo 495.527 toneladas (Tabla 2), es decir, el 3,47% del total. El 98,22% del brócoli cultivado tiene como destino la venta, especialmente para transformación, que abarca el 57,08%. Del resto de brócoli de consumo propio, menos del 30% es para alimentación, pues el 70,46% es para alimentación animal (MAPA², 2023).

CULTIVOS	TOTAL (kg)	CONSUMO PROPIO (kg)		VENTAS (kg)	
		Alimentación animal	Alimentación humana	Consumo en fresco	Transformación
DE HOJA O TALLO:	2.957.430	59.141	87.503	1.499.706	116.401
DE FRUTO:	13.303.383	227.849	126.126	6.409.311	2.364.118
DE FLOR:	ALCACHOFA	200.068	9.493	771	102.526
	BROCOLI	495.527	6.225	2.610	208.908
	COLIFLOR	180.457	5.336	3.123	132.467
RAICES Y BULBOS:	3.258.564	28.463	32.165	1.765.872	209.460
LEGUMINOSAS:	287.684	3.107	22.063	110.651	151.863
HORTALIZAS VARIAS:	200.434				
TOTAL HORTALIZAS	14.290.286	339.949	275.951	10.358.614	3.315.772

Tabla 2. Destino de la producción de hortalizas y de brócoli (Datos: MAPA², 2023).

Según indica el Análisis Sectorial del MAPA, del mismo modo que ocurrió para el conjunto de hortalizas, la campaña de brócoli de 2022/2023 frente a la anterior redujo la superficie en un 9,53% y en las últimas cinco campañas fue de un 8,70% (MAPA¹, 2023).

Debido a la ralentización de las importaciones, el conjunto de col, brócoli y repollo redujo en la campaña de 2022/2023 un 14,28% las exportaciones respecto al período pasado, y vino acompañado de una revalorización del producto, pues alcanzaron un valor unitario de exportación de 149,50€/100 kg, es decir 27,80 euros más por cada 100 kg (MAPA¹, 2023). Y es que, como se puede observar en la Tabla 3, en el año 2022 España encabezó la lista de los principales exportadores de coliflor y brécol, con destino Reino Unido, Alemania, Países Bajos y Francia.

PAIS	EXPORTACIONES (ton) EN 2022
México	566.663
España	398.574
China	222.844
Estados Unidos	157.323
Francia	108.016

Tabla 3. Principales exportadores de coliflor y brócoli en 2022 (Datos: FAOSTAT).

El Precio Medio Nacional del brócoli pagado al agricultor es de 77,78 €/100 kg de brócoli fresco, con tendencia al alza, como ha ocurrido en los últimos 5 años en los que ha subido un 46,60%. Por su parte, el Precio Medio Ponderado de Salida del Centro de Acondicionamiento es de 101,93 €/100 kg, con variación para el mismo período del 38,20% (MAPA¹, 2023).

El consumo en hogares de este cultivo lleva cayendo los último 5 años un 21,31%, muy lejos del conjunto de hortalizas que rondan el 14%. Probablemente estará relacionado con el alza de precios, el cual los últimos años era de 1,72€/kg, y en la campaña 2022/2023 ha subido a 2,01€/kg (MAPA¹, 2023).

En el marco mundial, España es una de las productoras más importantes. En la Tabla 3 se recoge la producción de coles y brécol (no diferencia) de todos los países que en 2010, 2015, 2020 y 2022 estuvieron entre los 5 mayores productores. En 2010 y 2015, China, India y Estados Unidos se mantuvieron en el top 3. No fue hasta 2020 que Bangladesh supero incluso a China y EEUU, cuando España logró posicionarse en la tercera (Tabla 4). En 2022, bajó la producción y se bajó de posición, incluso por detrás de la India y México.

PAIS	PRODUCCIÓN (ton)			
	AÑO 2010	AÑO 2015	AÑO 2020	AÑO 2022
Bangladesh	160.040	268.480	283.157	342.306
China	17.337.842	19.582.609	19.274.840	19.246.397
España	507.960 (4º)	607.186 (4º)	746.510 (3º)	677.290 (5º)
Estados Unidos	1.196.395	1.290.330	1.131.056	926.826
Francia	377571.5	309.633	253.770	309.633
India	6.569.000	7.926.000	8.941.000	9.566.000
Italia	427.407	385.972	365.360	352.070
México	385.977	518.018	686.788	739.394
Pakistán	213.414	217.559	217.559	279.232
Turquía	185.072	226.619	226.619	346.649

Tabla 4. Principales productores mundiales de coles y brécol, y puesto que ocupa España en el ranking (Fuente: FAOSTAT).

1.4. EL BRÓCOLI EN LA INDUSTRIA

1.4.1. La recolección

A pesar de que a finales del año 2024 la empresa española Moresil sacó al mercado la primera cosechadora automática del mundo, la recolección de esta hortaliza sigue siendo manual. Cuando esta cosechadora sea la única herramienta utilizada por los agricultores, se podrán recolectar 4 hileras a la vez, a una velocidad de entre 1.5 y

3 km/h gracias al sistema de visión perimetral Multi-Cámara, según lo describe la propia fábrica (Moresil, s.f.).



Figura 2. Cosechadora de brócoli. (Fuente: Navarra Capital).

Mientras tanto, la cosecha se realiza a mano. La maquinaria consiste en un tractor, cuyas ruedas deben ser estrechas para no pisar las plantas de brócoli, y unos cajones de plástico o un cazo donde verterlos. Los operarios caminan lentamente detrás del tractor, y depositan los brócolis que van cortando a cuchillo de la filas o filas de plantación que están revisando. Puesto que los criterios de recolección ideales deben ser reconocidos al instante, el personal de recolección debe estar adecuadamente formado para poder identificarlos y evitar el desperdicio de alimentos (ODS 12).

Además, las condiciones de acceso a los campos para la recolección dependen de la climatología. Como la recolección en la zona del valle del Ebro para el brócoli con destino congelado se realiza en la época de otoño-invierno, durante las jornadas de lluvias no es posible acceder a las parcelas por el riesgo de atascar con la maquinaria, añadido a que hay personas trabajando a la intemperie. Esto, unido a las bajas temperaturas de los días posteriores que impiden que el terreno vuelva a secarse, puede prolongar el proceso de recolección. Se suelen realizar hasta 3 recolección por parcela en cuestión de 15 a 30 días (Baixauli, C., y Maroto Borrego, J. V., 2016).

A pesar del esfuerzo depositado en optimizar este proceso y, sobre todo, en recoger exactamente el tipo de producto que la industria desea recibir, se debe tener en cuenta los fuertes componentes variables que lo determinan. La mecanización de esta etapa supone una inversión económica impensable para la agricultura familiar, por lo que el pago percibido por el productor debe compensar su labor para no crear una

desigualdad con las grandes industrias (ODS 2), al menos hasta que se pueda permitir el acceso a la nueva tecnología.

1.4.2. El proceso de troceado

Aunque existe la posibilidad de trocear el brócoli directamente en campo, la maquinaria, la mano de obra y el tiempo que esto exige hace que sea poco frecuente. Generalmente, cuando se cortan, se vierten a un remolque y son trasladados a un centro de troceado.



Figura 3. Planta de troceado de brócoli (Seryagrhis SL, Zaragoza) (Fuente: elaboración propia).

La materia prima entra en el proceso industrial en el momento en el que los agricultores descargan sus remolques en la nave, directamente sobre el suelo de hormigón limpio. La primera inspección visual que deben pasar se produce en ese momento, por lo que no deben presentar signos de sobre madurez o por el contrario haber sido recogido demasiado precoces, presentar plagas o enfermedades, ni estar mal cortados.



Figura 4. Destrío de brócolis en mal estado (Fuente: elaboración propia).

Si son aptos para su transformación, se identifica cada descarga y se clasifica según el criterio físico particular de cada empresa, con el objetivo de ofrecer un producto de calidad uniforme. Se pueden diferenciar entre producciones ecológicas o convencionales, por variedades, o por tamaño de los floretes. El primer criterio, el que separa el producto ecológico del convencional, se basa en la identificación de las descargas mediante el código de identificación de la parcela procedente, pues las labores agrícolas practicadas en cada una de ellas han sido supervisadas por personal técnico durante toda la campaña. Además, se toman muestras aleatorias que son analizadas en laboratorio para comprobar si se han aplicado productos químicos no autorizados en la producción ecológica. Cuando se desean distinguir variedades, pues las propiedades físicas y organolépticas difieren entre ellas, también se individualizan los lotes gracias al código de parcela, y se puede corroborar mediante la inspección visual de la hortaliza por parte del personal cualificado. Finalmente, es necesario hacer una clasificación por el tamaño de los floretes porque está directamente relacionado con el efecto que tendrán los tratamientos de envasado y cocinado sobre ellos. Puede depender de la variedad de brócoli o del estado de desarrollo en el momento de cosecha y, en cualquier modo, en la central de troceado sólo se separan mediante identificación visual, posteriormente se utilizarán medios mecánicos.



Figura 5. Identificación de las descargas de brócoli en el centro de troceado (Fuente: elaboración propia).

Mediante una pala cargadora el brócoli es introducido en una tolva que lo hace avanzar hacia el interior del centro de troceado. El tiempo que transcurre desde que se cosecha en el campo hasta que entra en la cadena de troceado debe ser el mínimo pues la tasa de respiración del brócoli es muy alta, concretamente se puede conservar un máximo de 72 horas a 20°C. El motivo es que durante las primeras 12 horas el anhídrido carbónico cae notablemente antes de estabilizarse, acelerando por lo tanto la velocidad de respiración, la producción de etileno y el amarillamiento de los floretes. (Salunkhe, D. K. & Kadam, S. S., 2003). De hecho, a partir de las 48 horas los tejidos se encuentran ya saturados de etileno y comienza a coger un tono amarillo, reduciendo así su sensibilidad y capacidad de respuesta a tratamientos de conservación posteriores (Tian, M.S., et al., 1994).



*Figura 6. Pala y tolva de carga de materia prima
(Fuente: elaboración propia).*



*Figura 7. Cinta transportadora para
la entrada de brócoli en la cadena
(Fuente: elaboración propia).*

Los brócolis que por el propio manejo se han desmenuzado ya no necesitan ser cortados, así que pasan directamente al camión que los transportará al centro de congelado. En cambio, aquellos que todavía están enteros, se colocan manualmente en posición vertical sobre las hendiduras cóncavas de la cinta transportadora los llevará hasta la descorazonadora. Esta es una máquina que mediante el impacto de unas cuchillas, bien afiladas para reducir la fuerza de corte y no deteriorar el producto, desprende el tronco de la cabeza y separa los floretes. Además, la velocidad de corte es proporcional al avance de la cinta transportadora.



Figura 8. Platos cóncavos para la introducción del brócoli en la cortadora (Fuente: elaboración propia).

Si el diámetro o forma del tronco no se corresponden con los que la máquina automática puede trabajar, habrá operarios que deberán cortar el tronco a cuchillo y quitar el corazón central mediante un golpe seco sobre un par de placas de metal colocadas en posición perpendicular, para así separar el brócoli en sus brotes o floretes.



Figura 9. Descorazonadora manual de brócoli (Fuente: elaboración propia).

El troceado no solo es necesario para satisfacer la demanda del consumidor. En un producto que va a ser transformado industrialmente interesa reducir la relación superficie/volumen para mejorar la eficacia del enfriamiento y calentamiento; así como tener un producto homogéneo en el que sea sencillo aplicar sustancias o mezclar con otros ingredientes en la proporción más ajustada (Fellows, P., 2007).

Los troncos y corazones, procedentes de ambas líneas de cortado, son inmediatamente desechos y depositados en el camión de desperdicios vegetales.



Figura 10. Cinta transportadora de restos vegetales (Fuente: elaboración propia).

Para asegurarse de que el troceado es correcto, pasan por una segunda inspección visual. De este modo se repasa el corte de algún brócoli que la máquina o el operario no haya podido procesar tal y cómo se espera, y se aprovecha para controlar que no haya ningún cuerpo extraño o material, sea cual sea su naturaleza, que altere la trazabilidad del producto.



Figura 11. Brotes de brócoli tras el troceado a cuchillo (Fuente: elaboración propia).

Finalmente, estos brócolis, cómo los que estaban ya desmenuzados antes de entrar en la cadena de troceado, pueden pasar al camión que los llevará al centro de congelado.



Figura 12. Cinta transportadora para la salida de brócoli terminado (Fuente: elaboración propia).

Los cuerpos extraños que no se pueden destinar al consumo animal se trasladan al vertedero, pero los restos vegetales, es decir, los brócolis que no han pasado la primera inspección, y las hojas, troncos y corazones que se van desechando durante el proceso de troceado, se aprovechan para la alimentación del ganado. Una de las metas del ODS 12 es reducir los residuos mediante estrategias de reutilización, por lo que estos componentes vegetales que no son aptos para el consumidor humano se integran perfectamente en la alimentación de animales. Así, todos los recursos empleados en la producción son doblemente aprovechados.



Figura 13. Desechos tras el troceado de brócoli (Fuente: elaboración propia).

Ahora sí, el producto terminado parte inmediatamente en camiones hacía el centro de congelado para continuar su preparación.



Figura 14. Aspecto de los floretes tras el troceado (Fuente: elaboración propia).

1.4.3. La industria congeladora

El brócoli, todavía fresco pero ya troceado, está listo para comenzar la segunda etapa del proceso industrial. El conjunto de procedimientos que suceden está representados en el gráfico que recoge la Figura 15. Gracias a este diagrama, entendemos que primero se recibe y evalúa el brócoli antes de acondicionarlo, para después pasar a una fase de cocinado, siendo el escaldado la de relevancia en este proyecto. Continuará siendo congelado en dos ocasiones, y glaseado como paso intermedio entre las dos repeticiones. Finalmente, tendremos un brócoli congelado listo para envasar, almacenar y expedir hacia los comercios.

Profundizando en el proceso industrial, se da comienzo con el primer paso de la secuencia de tratamientos que derivarán en un producto congelado y envasado, el cual es una inspección visual inicial del producto que entra en las dependencias de la planta congeladora (Figura 15 – Etapa 1). Si este reúne las características apropiadas, es decir, si no se superan los límites de tolerancia de diversos factores para su transformación (Tabla 5), en un plazo máximo de 24 horas desde que se recibe, se procede con el acondicionado de la verdura. Cajones enteros de brócoli son vertidos en tanques de agua clorada y peróxido de hidrógeno a temperatura ambiente para eliminar todo tipo de residuo sólido (Figura 15 – Etapa 2).

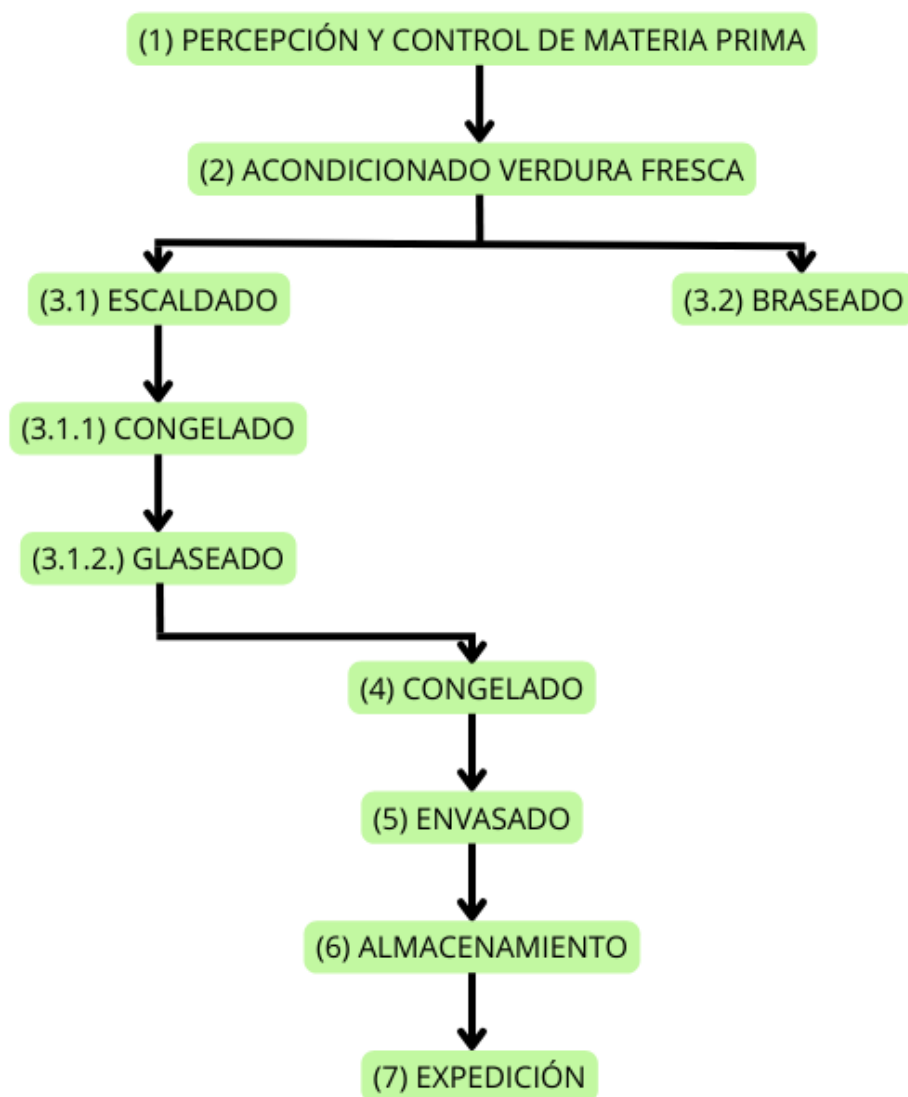


Figura 15 . Diagrama de flujo simplificado del proceso de congelado de brócoli.

El peróxido de hidrógeno es considerado no carcinogénico, no mutagénico y respetuoso con el medio ambiente por lo que se considera un desinfectante no tóxico. Su método de actuación se basa en su capacidad oxidante, la cual le permite reaccionar con los grupos sulfhidrilo y los dobles enlaces de las proteínas y lípidos que componen las membranas citoplasmáticas de los microorganismos, del mismo modo que puede formar radicales libres que atacan el ADN y otros componentes de sus células (Block, S. S., 1991)

El residuo generado al final de estas etapas iniciales tiene el mismo destino que el generado durante el trocado, pues también se trabaja en consonancia con el ODS 12 y se le intenta dar una segunda oportunidad. Por un lado, los cuerpos extraños se trasladan al vertedero y, por otro lado, los restos vegetales, tanto partes sueltas como brócolis enteros, se destinan a alimentación animal. Se desechan brócolis completos porque no son aptos para venderlos según un estándar de alta calidad, así pues, la empresa establece unos límites máximos admisibles de defectos y se marca un objetivo propio inferior a ellos, como se puede ver en la tabla 5.

DEFECTOS	TROCEADO	
	OBJETIVO	LÍMITE MÁXIMO
ME	0	10
MVE	5	20
Sobremaduro	15%	30%
Amarillo	1	5
Daño mayor	2	15
Daño menor	6	30
Mal cortado	20%	50%
Mal troceado	15%	22%
Longitud	15%	40%
Oxidación	2%	5%

Tabla 5 . Tolerancia de defectos en la materia prima, en unidades/2 kg de brócoli troceado o en porcentaje, en la compañía SAAR Originia Foods.

Esta Tabla 5 diferencia entre el límite máximo que se permite tener para cada parámetro y el objetivo personal que persigue la empresa con el fin de alcanzar una alta calidad. Es imperativo que las empresas de alimentación definan estos límites porque la población necesita garantías de que el producto que compra es seguro, como bien trata el ODS 2. En esta industria serían los siguientes:

- Los cuerpos extraños no vegetales (ME), es decir piedras, insectos, plásticos, etc., se permiten en 10 unidades cada 2 kg de brócoli troceado, aunque el propósito de la compañía es que sean nulas.
- Los restos vegetales inofensivos (MVE) pueden ser hasta 20 unidades, pero se desea reducir hasta las 5.



Figura 16. Restos vegetales inofensivos (MVE) y floretes mal troceados eliminados durante la inspección visual y el acondicionado en la industria congeladora (Fuente: elaboración propia).

- Cuando el brócoli se ha cosechado estando sobremaduro, se observan pedicelos demasiado largos y separados, que privan al producto de su compacidad característica, de modo que se autorizan un 30% de brócolis con esta condición, a pesar de que se quiere rebajar hasta la mitad.

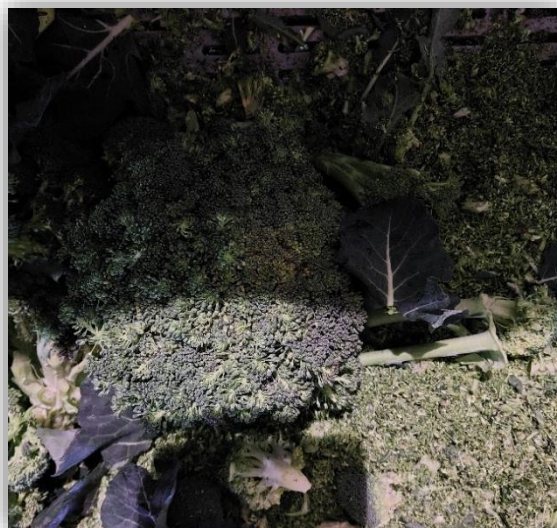


Figura 17. Brócoli sobremaduro troceados eliminados durante la inspección visual y el acondicionado en la industria congeladora (Fuente: elaboración propia).

- Si se recolectó en floración, se tienen brotes que toman el color amarillo propio de esta planta, y en este caso se consienten 5 unidades cada 2 kg, pero se persigue el límite de 1 unidad.



Figura 18. Brócoli con coloración amarilla eliminado durante la inspección visual y el acondicionado en la industria congeladora (Fuente: elaboración propia).

- Los daños o manchas que afectan al producto se distinguen por su tamaño, por lo que entre 2 y 6 mm se consideran menores y a partir de 6 mm mayores y sus límites y objetivos son de 30 y 6 y 15 y 2 unidades, respectivamente.
- Tampoco es deseable que haya brócolis que por error de máquinas o de personas presenten un corte longitudinal perpendicular al florete, de manera que se establece una restricción del 50%, aunque se pretende frecuentar solo el 20%. Se puede ver un ejemplo en la Imagen 13.
- Aunque el producto se clasifica en calibres no se trabajan con floretes que tienen en su parte más ancha más de 80 mm, de modo que se clasificarán como “mal troceados” aquellos que registren esta medida y la empresa permitirá que aparezcan máximo en el 22%, si bien se aspira a que sean el 15%.



Figura 19. Troceado en calibres irregulares, sometidos a medición en la industria congeladora (Fuente: elaboración propia).

- Si el tallo supera en 1 cm el diámetro del florete se considerará un defecto, admisible como mucho en el 40% si bien se aspira que sea del 15%.
- La oxidación de las zonas de corte está limitada a 5%, pero se desea reducir al 2%.

A continuación, el vegetal puede tomar dos caminos distintos, si bien a ambos destinos es transportado de la misma manera, es decir, con un flujo de agua constante. Uno de ellos es el escaldado (Figura 15 – Etapa 3.1) y la otra opción es el braseado (Figura 15 – Etapa 3.2).

El braseado tiene dos objetivos. Por un lado pretende hacer comestible las verduras, y por otro reducir el agua en superficie para evitar la proliferación de microbios, siempre y cuando después se aplique un tratamiento de refrigeración.

El escaldado tiene como fin destruir los gases contenidos en los tejidos y las enzimas responsables del deterioro de la calidad del brócoli. Algunas muy frecuentes son la lipoxigenasa y la proteasa, que causan mal olor, la oxidasa que modifica el color, y el ácido ascórbico oxidasa y la tiaminasa que afectan a los nutrientes. En cambio, el oxígeno causa cambios en el color (Tirilly, Y., & Bourgeois, C. M., 2002). La tecnología utilizada consiste en un escaldado con duchas de agua a 85°C durante 90 segundos, que permite reducir el consumo de agua, mantener una mejor eficiencia energética, y lograr una menor pérdida de materia orgánica, en comparación con las técnicas de inmersión o de vapor. Puesto que el calor tiene efecto sobre las propiedades organolépticas del brócoli, la industria tiene estudiada la combinación de tiempo-temperatura menos perjudicial para su producto. Los valores de temperatura y de tiempo de reducción decimal, es decir, el tiempo necesario para destruir el 90% de los microorganismos, vitaminas y pigmentos, están tabulados e indican que, para alcanzar la esterilidad comercial sin perturbar excesivamente las vitaminas, pigmentos y compuestos aromáticos, es mejor optar por temperaturas muy altas durante periodos de tratamiento cortos (Fellows, P., 2007).

Después, antes de que pasen 30 minutos, es sometido a un hidrogenfriamiento por inmersión hasta los 10°C, que dura 6 minutos, para facilitar el posterior congelado. Este sistema requiere de necesidades higiénicas específicas que no permitan que

aumenten los microorganismos o aparezcan nuevos, como *Listeria Monocytogenes* o *Escherichia coli* (Fellows, P., 2007).

También es escurrido para que no se formen cristales de hielo internos que dañen el producto. Las verduras suelen tener una temperatura de transición vítrea baja, por lo que los núcleos de moléculas de agua que se quedan en el interior del brócoli fácilmente se transformarían en cristales de hielo que afectarían a su textura si no se retira toda el agua posible (Fellows, P., 2007).

La siguiente etapa es el congelado (Figura 15 – Etapa 3.1.1). Teniendo en cuenta la velocidad de congelación que determina el propio brócoli, así como su variabilidad en tamaño y forma, su posterior envasado y, por supuesto, el volumen a manipular y su correspondiente coste económico, la técnica empleada más común es la denominada Individual Quick Freezing (IQF) (Figura 3), lo que se traduce en un sistema de congelación rápida individual. Los brócolis, reposando sobre una rejilla vibradora que evita el apelmazamiento entre ellos mismos, se desplazan por el interior del túnel de congelación en espiral. Allí dentro un compuesto criogénico, que suele ser el nitrógeno, tanto líquido como gaseoso, que es incoloro, inodoro, inerte, bacteriostático e inocuo se encarga de la congelación. El aerosol capta el calor de vaporización del brócoli y lo enfría por contacto, a continuación el gas es recirculado para aprovechar el 52% de su entalpía total que aún mantiene, y finalmente una ducha de nitrógeno líquido congela el brócoli hasta los -20°C sin producirle deshidratación ni agrietamiento. Esta maquinaria supone un ahorro de espacio y tiempo para la industria, en concreto toma solo 9 minutos (Fellows, P., 2007).

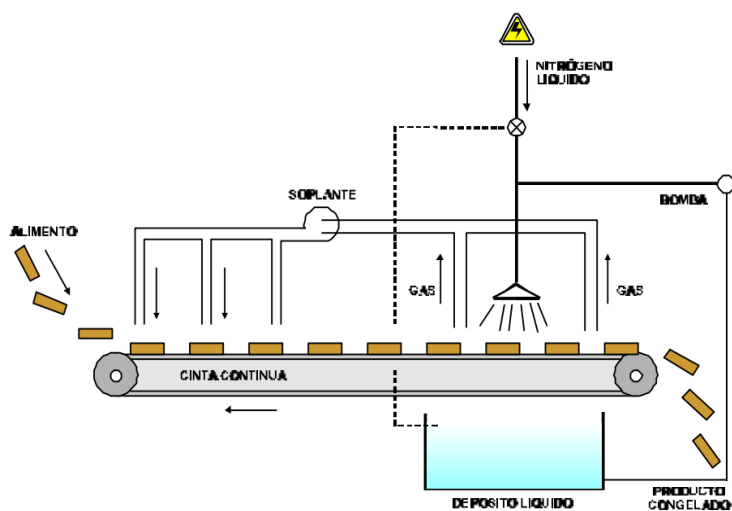


Figura 20. Esquema del sistema de congelación según el Instituto Tecnológico Agroalimentario (Fuente: AINIA).

Los característicos granos del brócoli complican el proceso y obligan a hacer un último paso previo al envasado. Con el fin de proteger estas formaciones y que lleguen intactas al consumidor, el producto congelado se vuelve a sumergir en agua a temperatura ambiente, creando así una fina capa de agua a su alrededor, y se congela de nuevo. Esta secuencia de pasos desemboca en la creación de lo que se denomina como glaseado (Figura 15 – Etapa 3.1.2).

Este tipo de transformaciones de hortalizas consume una gran cantidad de energía, Por ello la industria evalúa constantemente todos los procesos buscando alternativas que les permitan obtener el mismo producto de una manera más eficiente. Como ya se ha podido observar, los tiempo y temperaturas están muy ajustados, y los insumos que emplean, como por ejemplo el agua, son reutilizado siempre que es posible. Es necesario que estos sectores no solo se centren en sacar al mercado alimentos, sino que también dediquen inversiones e investigación en hacerlo de una manera sostenible, como dice el ODS 12.

Como en toda industria alimentaria, existe un Plan de Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control (APPCC, s.f.). Controlados los riesgos químicos y biológicos, queda por tanto establecer una revisión de los riesgos físicos. Por ello, se hace pasar el brócoli congelado por una selectora óptica que, en caso de identificar un cuerpo extraño, detiene la cadena para evitar que llegue a ser ingerido por el consumidor.

La selectora óptica se fundamenta en los rayos-X, que son una forma de radiación electromagnética producida por eventos extra-nucleares. La intensidad con la que atraviesan distintos materiales depende de la densidad y el grosor de los mismos, por lo que se pueden estandarizar las longitudes de onda que se detectarán al someter a estos rayos el brócoli y a distintos cuerpos extraños, como la madera, el plástico, el cartón, el metal, entre otros. De este modo, cuando el producto que va destinado a embolsar pase por la selectora óptica, esta podrá detectar que se está filtrando una materia no deseada analizando la absorción de los rayos por parte de esa unidad, detendrá la cadena, y se retirará el producto (Nielsen, M. S., 2012).

Es vital que la producción de alimentos se comprometa a realizar controles porque su objetivo no debe ser sólo hacer llegar comida a la población, sino también asegurar que estos son seguros. Es un precepto estrechamente vinculado al ODS 2

pues el problema de los grupos sociales más vulnerables no es sólo el tamaño de la ración a la que tienen acceso, es que también necesitan acceder a alimentos seguros.

Así, finalizando el proceso, se llega a la clasificación del brócoli según su calibre (por ejemplo 20-30, 30-50, 40-60, > 60) y su correspondiente envasado en distintos formatos (Figura 2 – Etapa 5). Al pasar los floretes congelados por la seleccionadora, esta los ordena según el calibre con el que ha sido programada, redirigiendo cada uno de ellos a su correspondiente embalaje, así el consumidor recibirá un producto homogéneo.

El diseño de la bolsa es crucial para que la verdura se mantenga en buen estado. Es importante estudiar cómo afecta el grosor del plástico y el volumen de la bolsa, puesto que si no existe una adecuada transmisión de gases, el O₂ y el CO₂ que producen el brócoli con la respiración anaeróbica no se mantendrán por debajo del 1% y del 10%, respectivamente, provocando así aromas y sabores desagradables (Jacobsson, A., 2004). Esto mantiene también una correlación directa con la temperatura de almacenamiento la cual, desde el instante del envasado hasta su venta, se mantiene a -22°C.

En las cámaras frigoríficas se hace acopio (Figura 15 – Etapa 6) en los distintos formatos de venta que tiene cada empresa. Adicionalmente, están calculado el peso y la geometría de las cajas de cartón en las que se transportan los pedidos para que la carga en los camiones y el traslado a los comercios sea lo más eficiente posible, como lo ha sido el resto del proceso (ODS 12).

Desde este momento y hasta su puesta en venta (Figura 15 – Etapa 7), se conservará en el interior de una cámara frigoríficas a -22°C.

Por último, las técnicas de conservación también juegan un papel fundamental. No se podría permitir que después de gastar tantos recursos en producir un alimento excelente, este se echara a perder porque no se ha conservado correctamente (ODS 12). Como se puede consultar, se está dedicando gran parte de I+D+i a mejorar la metodología.

1.5. NECESIDADES AGRONÓMICAS DEL BRÓCOLI

1.5.1. Exigencias edafoclimáticas: temperatura, agua, humedad, y suelo.

Las necesidades climáticas del brócoli van variando a lo largo de sus etapas de crecimiento. Durante la etapa juvenil y hasta que forman 20-30 hojas, lo que para brócolis de invierno suponen de 10 a 15 semanas, la temperatura ideal es de entre 20 y 30°C (Tan, D.K.Y., et al. 2000; Baixauli, C., y Maroto Borrego, J. V., 2016). Después, para la inducción floral, aunque se considera que el brócoli es una planta vernalizante facultativa, se requerirían entre 6 y 10 °C. Finalmente, en la etapa de formación de la pella la temperatura no poder ser inferior a su cero de crecimiento (3 – 5 °C) y debe ser de entre 6 y 10°C. Las temperaturas muy bajas afectan al crecimiento y favorecen la aparición de mancha marrón en la pella (Pascual Antón, J.A., 1994); mientras que las temperaturas altas producen la descompactación de la pella, favorece la sobremaduración, provoca la pérdida de color, genera tallos grandes y huecos, y puede acarrear ataques de plagas como la mosca blanca, el pulgón o las orugas. Por el contrario, si el cultivo no resiste una helada, puede aparecer mancha marrón en la pella.

El suelo perfecto para el desarrollo del brócoli es uno fértil y profundo, que presente buena permeabilidad pero que también retenga de humedad, cuyo pH oscile entre 6.5 y 7.5 y con textura arcillo-arenosa o arcillo-limosa. Además, el contenido de cal debe ser suficiente para prevenir los ataques de la Potra de la col, y si en cambio el suelo es ácido, hay que cubrir la carencia de molibdeno. Adicionalmente, el cultivo exigirá calcio, azufre, manganeso y boro (Pascual Antón, J.A., 1994). Su umbral de salinidad está alrededor de 2.8 dS/m, por lo que por cada aumento de la misma en una unidad provoca una caída del 9,2% en la productividad⁹⁵ (Allen et al., 1998).

La cantidad exacta de agua exigida dependerá de las condiciones climáticas que se den durante la campaña, el manejo del cultivo y las características propias de cada variedad, por lo que en general, se puede decir que el requerimiento de agua por parte del brócoli se encuentra en el rango de entre 300 y 400 mm. Siempre tiene más necesidad en la etapa intermedia de crecimiento, así en la final, mientras que la inicial tiene menos importancia, puesto que su coeficiente Kc evoluciona de 0,7, a 1,05 y a

0,95 (Allen et al., 1998). Por ello también el requerimiento de humedad relativa del ambiente es elevado a lo largo de todo el ciclo (Pascual Antón, J.A., 1994).

1.5.2. Labores previas a la siembra

Para comenzar un nuevo ciclo de plantación de brócoli y, especialmente, cuando se está trabajando con una rotación de cultivo intensiva, es vital limpiar el terreno y descompactarlo.

Mediante medios mecánicos, como el laboreo superficial, o químicos, como los herbicidas, es necesario deshacerse del rastrojo del cultivo anterior, si lo había, así como de la vegetación espontánea que ha crecido (Baixauli, C., y Maroto Borrego, J. V., 2016). El objetivo de ello es eliminar posibles restos de plagas o enfermedades que hayan quedado latentes en las plantas y que podrían infectar al cultivo, pero también evitar que sean estas plantas las que consuman los nutrientes destinados al brócoli y acaben apoderándose de él.

Así mismo, cuando el brócoli es trasplantado, es vital haber descompactado el terreno. En primer lugar, porque la máquina empleada para ello tiene que ser capaz de depositar y afianzar la planta en el suelo y, en segundo lugar, porque el plantón en el momento del trasplante tiene una joven raíz de uno 6 cm que necesita fijarse al suelo y desarrollarse fácilmente hasta los 40 o incluso 60 cm de longitud (Allen et al., 1998). Además, se debe facilitar el drenaje del agua, especialmente durante el primer riego (Rodríguez Eguílaz, J.J., marzo – abril 2008).

Cabe añadir que si el riego va a ser a manta, es crucial nivelar la superficie y no superar una pendiente del 5% para evitar la escorrentía de agua y facilitar el trabajo (Baixauli, C., y Maroto Borrego, J. V., 2016).

1.5.3. Abonado y fertilización

A la hora de realizar una fertilización nitrogenada mineral es muy importante determinar el contenido de nitrógeno en el suelo antes de la plantación, con el objetivo

de optimizar los recursos, mejorar el rendimiento, evitar las pérdidas por lixiviación y la degradación del suelo, y no contribuir a la emisión de gases de efecto invernadero. Por ello, es interesante analizar el nitrógeno mineral (nitrato y amoniacal) presente en los primeros 60 cm de suelo.

Los ensayos de Ramos y Pomares (2010) estimaron que para una producción de 17 ton/ha, el brócoli absorbe aproximadamente 12-18 kg de N/ton, por lo que requiere de unos 200-310 kg/ha, aunque luego deje en su rastrojo de 150 a 230 kg/ha. El K₂O es más demandado, puesto que requiere de 22 a 27 kg/ton, por lo que fertilización será de 270 a 450 kg/ha, si bien después quedarán en los restos vegetales del campo 250-290 kg/ha. El nutriente menos absorbido es el P₂O₅, pues solo consume de 4,7 a 5,9 kg/ton, así que con aportar 80-100 kg/ha será suficiente, además luego los residuos de cosecha dejarán 50-70 kg/ha. Se resumen las necesidades aproximadas de nutriente en la siguiente Tabla 6:

PRODUCCIÓN (ton/ha)	NECESIDADES N (kg/ha)	NECESIDADES P ₂ O ₅ (kg/ha)	NECESIDADES K ₂ O (kg/ha)
15 - 20	280 - 320	80 - 100	370 - 450

Tabla 6. Necesidades aproximadas de nutrientes del brócoli según niveles de producción (Fuente: Ramos y Pomares, 2020).

Cuando se realiza abonado de fondo se ajusta al fósforo, porque es el nutriente que ayuda al arraigo del plantón, el potasio se añade en cantidades inferiores a las extracciones porque no suele ser una deficiencia común de los suelos, y el nitrógeno se aporta en pequeña cantidad porque en esta etapa aún no es imprescindible. Posteriormente, en el abonado en cobertura, es preferible la aplicación de NAC 27% en dos aplicaciones iguales, una a los 25-30 días de plantación y la segunda cuando el fruto es del tamaño de una nuez (Irañeta, J., et al, julio-agosto 2011).

1.5.4. Siembra o trasplante

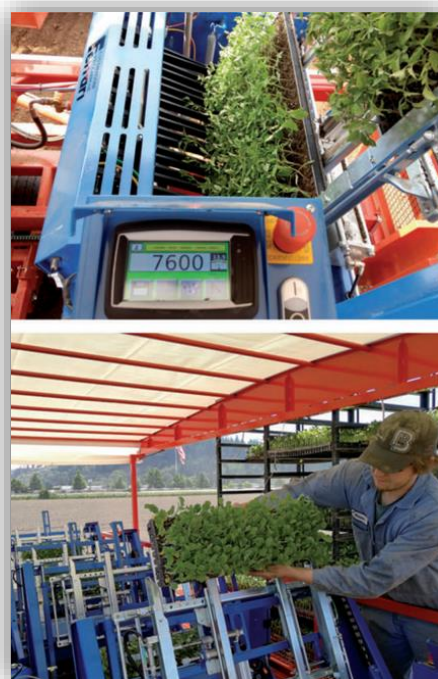
Se puede trabajar tanto la siembra como la plantación, pero se debe tener en cuenta que la siembra conlleva mayor coste de la simiente, mayor incertidumbre en la

densidad de plantación y mayor riesgo al permanecer por un período de tiempo más largo en el campo.

Lo habitual es que los viveros especializados siembren el brócoli en bandejas de 200 – 250 alvéolos, de modo que, tras 2 días a 18-22°C se haya producido la pregerminación (Baixauli, C., y Maroto Borrego, J. V., 2016). Después pasarán a invernaderos de malla o plástico a 20-30°C durante 26-28 días para que formen las primeras 5 – 7 hojas y ya pueda ser viable el trasplante (Pascual Antón, J.A., 1994).

El trasplante se puede ejecutar con distintos tipos de máquinas, pero hay una de ellas que agrupa todos los pasos a seguir y es la más empleada hoy en día. Cada cuerpo de una trasplantadora consta de una reja que abre un surco y un aporcador que hace el caballón una vez el brócoli se ha insertado en el surco. Si la trasplantadora es manual, un operario ha tenido previamente que coger un brócoli de la bandeja e introducirlo en un cangilón. El distribuidor de cangilones es un plato circular que gira proporcionalmente a la velocidad del tractor. La separación entre plantas y entre líneas es regulable mediante engranajes. Además, en cada extremo hay un marcador, que sirve para orientarse durante la plantación.

Gracias al desarrollo tecnológico se han creado trasplantadoras automáticas (Figura 21) que sólo requiere de un operario para ir colocando bandejas completas de brócoli en la línea de alimentación de la máquina para que así esta, mediante un sistema de pinzas deposite las plantas una a una en los cangilones. De esta manera se puede plantar unas 8.000 plantas/hora, mientras que con las trasplantadoras manuales hay que adaptarse al confort del operario. Su utilización reduciría el consumo de combustible y el desgaste del tractor, y evitaría el desperdicio de planta por errores humanos, lo que encaja muy bien con el modelo de producción sostenible que fomenta el ODS 12. Sin embargo, hoy en día esta máquina



*Figura 21. Trasplantadora automática
(Fuente: Ferrari Growtech).*

se encuentra fuera del alcance de las explotaciones familiares dado su elevadísimo precio, por lo que de momento queda relegada a grandes plantaciones. Este detalle crea una nueva desigualdad entre las explotaciones de distintas tamaño y relega a los pequeños agricultores a una posición de desventaja competitiva en el mercado (ODS 2).

El marco de plantación dependerá del sistema de recolección, pues deberá ser compatible con la maquinaria agrícola, así como del tipo de riego. En concreto las plantaciones lineales con surcos separados 70-80 cm son más adecuadas para riegos a manta; mientras que las líneas pareadas a 1 m de distancia son mejores para riego localizado (Baixauli, C., y Maroto Borrego, J. V., 2016).

La densidad también será variable, porque debe responder al balance entre los nutrientes que aporta al suelo y las necesidades que requiere el cultivo y la variedad, y no debe perjudicar el rendimiento, por lo que abarca un amplio rango desde las 30.000 plantas/ha hasta las 60.000 plantas/ha (Pascual Antón, J.A., 1994). Generalmente en plantaciones de invierno los marcos son más amplios para tratar de obtener mayores calibres.

1.5.5. Plagas, enfermedades, malas hierbas o fisiopatías

A) PLAGAS

Desde el punto de vista fitosanitario, el Boletín Fitosanitario mensual de Avisos e Informaciones de Aragón informa durante esta campaña de 4 plagas importantes:

- *Pieris brassicae* (Oruga de la col): se debe identificar la plaga en la fase de puesta de huevo para poder tratar la larva cuando aún es pequeña. Los productos recomendados tienen como materia activa acetamiprid 20%SP,SL, azadiractin 1%EC y 2,6%EC, varias *Bacillus thuringiensis* y *Beauveria bassiana*, cipermetrinn 10%EC y 50%EC, entre otros.



Figura 22. Oruga de la col
(Fuente: MAPA).

- *Aleyrodes proletella* (Mosca blanca): llegado el otoño se verían colonias de mosca en el envés de la hoja. Se manifiesta debilitando la planta, produciendo clorosis en el haz de la hoja, y recubriendo el envés de negrilla debido a la secreción de abundante melaza, lo que también deprecia el brócoli. Si el 50% de las hojas son atacadas se puede aplicar en la hoja con un



Figura 23. Mosca blanca
(Fuente: INTIA).

mojante las siguientes materias: spirotetramat 10% SC, 15% OD, piretrinas 12,9 g/l EC, *Beauveria bassiana*, sales potásicas de ácidos grasos vegetales o piretroides autorizados. Se debe tener en cuenta que las crucíferas son muy cerosas por lo que el tratamiento se tiene que repetir varias veces y hacer hincapié con el mojante en las hojas, puesto que es donde se encuentran adultos, huevos y ninfas. Como medidas culturales, se recomiendan ajustar la fertilización con nitrógeno y deshacerse de los restos vegetales del cultivo tras la cosecha.

- *Brevycoryne brassicae* (Pulgón ceroso): cuando se observa un enrollamiento y debilitamiento de la planta, con especial incidencia en las hojas jóvenes durante el otoño (de septiembre en adelante), se trata de pulgón ceroso. Cuando la plaga está ya muy desarrollada también se puede observar una secreción blanquecina o ceniza, sobre la que se instala la “fumagina” reduciendo al capacidad fotosintética. Es importante tratar la plaga si es necesario porque puede ser vector de enfermedades víricas, y para ello se pueden emplear las mismas materias que para las orugas de la col.

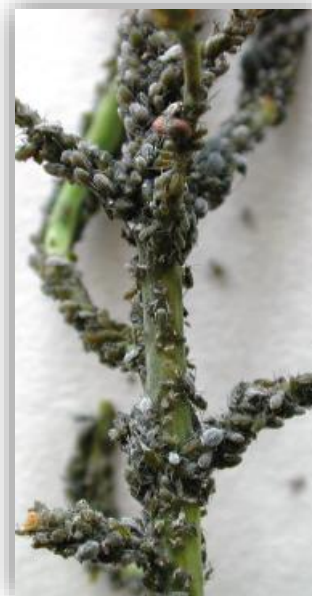


Figura 24. Pulgón ceroso
(Fuente: MAPA).

- *Plutella xylostella* (Polilla de la col): la polilla ataca las yemas terminales del tallo, dejándolas totalmente improductivas, por lo que es vital tratarla en los primeros estadios cuando se manifiesta en el momento de plantación (de julio a septiembre).



Figura 25. Polilla de la col
(Fuente: INTIA).

B) ENFERMEDADES

En cuanto a enfermedades criptogámicas destacan algunas de las descritas en la Guía de Gestión Integrada de Plagas en *Brassicas* del MAPA (2016):

- *Hyaloperonospora parasítica* (Mildiu): cuando la temperatura se encuentra en torno a los 15°C y la humedad relativa es alta, como en primavera, esta enfermedad puede atacar a un brócoli en cualquiera de sus estados de desarrollo. Puede permanecer latente en el suelo o en restos de tejido vegetal e



Figura 26. Mildiu. (Fuente: MAPA).

- infectar la planta a través de la raíz, los cotiledones, las hojas o las inflorescencias mediante la germinación de oosporas o de esporangios. Pasados 4 o 5 días de la infección, aparecen lesiones angulares especialmente en las hojas, que conforme se agrandan tornan a color amarillo en el haz, o con esporulación vellosa grisácea en el envés. También puede afectar a la pella, causándole decoloración.
- *Alternaria brassicae* (Mancha negra): es un hongo que aparece cuando se intercalan períodos húmedos y secos. La condensación de agua y las temperaturas de 17-24°C provocan la germinación de esporas y la infección a través de los estomas. Además, el impacto de las gotas de lluvia y el viento favorecen la dispersión de estas. El hongo puede

sobrevivir como saprófito en restos vegetales de crucíferas y en semillas, por lo que puede suponer un grave problema en los campos que se realiza una rotación ininterrumpida de cultivos. Los síntomas que se manifiestan en la pella del brócoli son similares a los descritos para el Mildiu.



Figura 27. Mancha negra (Fuente: INTIA).

- *Mycosphaerella brassicicola* (Mancha Anular): las ascosporas de este hongo tiene su temperatura óptima en 16°C para la germinación y en 20°C para el crecimiento de los daños. Estas temperaturas, junto con la presencia de agua en la hoja permiten que las hifas del hongo colonicen la planta a través de sus estomas en cuestión de 24-48 horas. Este patógeno sobrevive en los restos de poda en forma de espermogonios y pseudotecios y los principales síntomas que provoca son manchas circulares en las hojas, que inicialmente son pequeñas, numerosas y pardas, pero después se concentran, agrandan y ennegrecen. Se considera una infección grave cuando la hoja tomar color amarilla, los bordes se quiebran y se secan, lo que acaba causando la defoliación.



Figura 28. Mancha anular (Fuente: MAPA).

- *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* (Podredumbre negra): se trata de una bacteria que se hospeda en las plantas de viveros, en el suelo, en residuos de cultivos, en insectos, en maquinaria y en semillas, y que accede al sistema vascular de la planta a través de hidatodos o heridas. Su óptimo de temperatura es de entre 20 y 28°C, pero puede

desarrollarse en un amplio margen de temperaturas, desde los 5 a los 35°C. Además requiere de humedad relativa alta, por lo que puede no ser capaz de provocar síntomas a los 7-14 días de la infección, pero sí podría llegar a la semilla y desarrollar la enfermedad una vez sea sembrada.



Figura 29. Podredumbre negra.

C) MALAS HIERBAS

Respecto a malas hierbas, se suele encontrar con mayor frecuencia algunas dicotiledóneas anuales como *Sinapis arvensis* L. (Ciapes), *Senecio vulgaris* L. (Hierba cana), *Calendula arvensis* L. (Maravilla), *Portulaca oleracea* L. (Verdolaga), *Diplotaxis erucoides* L. (Jaramago) y *Coronopus didymus* L. (Mastuerzo) y, gramíneas anuales como *Poa annua* L. (Poa).

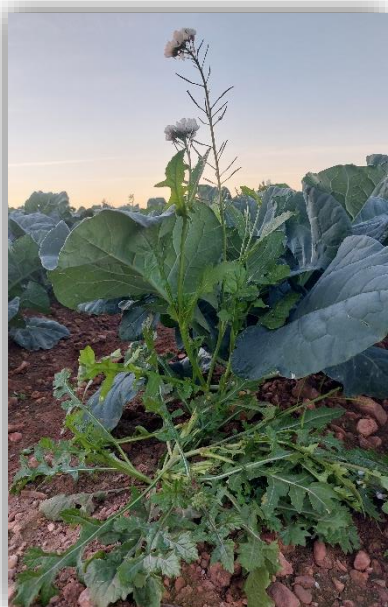


Figura 30. Jaramago. (Fuente: elaboración propia).



Figura 31. Mastuerzo (Fuente: elaboración propia).

Las medidas de prevención recomendadas es el laboreo mecánico previo a la implantación del cultivo en la parcela, de modo que se entierren las semillas de las malas hierbas, así como la rotación de cultivos. La repetición de 2 o 3 veces del laboreo durante la etapa de crecimiento de las hierbas evita la formación de nuevos individuos. También se debe valorar retrasar la siembra o trasplante para evitar las afecciones, puesto que generalmente son de crecimiento rápido y competitivo. Además, se debe prestar atención a la maquinaria, ganado, agua de riego o estiércol que pueden portar las semillas. En los sistemas agrícolas que lo permitan, también se puede cubrir el suelo acolchado plástico y realizar un cuidadoso laboreo mecánico entre las filas de brócoli.

El seguimiento de estas malas hierbas debe valorar los antecedentes de la parcela y estimar su densidad en plantas/m² o porcentaje (%) de superficie afectada. Si su presencia no beneficia en el control de plagas u en otros aspectos, y su densidad supera las 5 plantas/m² o el 2% de cobertura, aproximadamente, valorando también el tipo de suelo de cada parcela, se deberá actuar antes de que se produzca la floración.

Los productos químicos que se empleen deberán estar autorizados en el Registro de Productos Fitosanitarios del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Los tratamientos se realizarán en los primeros estadios y evitando repetir materia activa y modo de acción para que no se produzca resistencia. Para cada mala hierba y producto, se debe ser muy cauteloso con las indicaciones específicas.

D) FISIOPATÍAS

En ocasiones los problemas que merman la calidad y la producción del cultivo no están causados por insectos, hongos o bacterias. A veces, las condiciones del entorno, el manejo o simplemente la susceptibilidad del cultivo causan alteraciones en el desarrollo, por ello es fundamental seleccionar las variedades menos propensas a manifestarlas. Las más comunes en el brócoli son:

- Tallo hueco: un marco de plantación muy espaciado, un aporte excesivo de nitrógeno o potasio, o una humedad en el suelo inadecuada pueden generar un tallo hueco desde etapas muy tempranas. Las cavidades aumentan conforme la planta crece, por lo que hay riesgo de que alcance la pella, y teniendo en cuenta que es un acceso directo a plagas y

enfermedades, puede suponer un grave problema. Pocas veces está relacionado con una deficiencia de sodio, por lo que su aporte no garantiza eliminar el problema, por lo que se recomienda seleccionar variedades resistentes, adecuar el marco de plantación y analizar las propiedades del suelo (UMass Extension Vegetable Program, 2016).



Figura 32. Tallo hueco por Hellula hundalis.

- Inserción de brácteas en la pella:

temperaturas excesiva durante la formación del cogollo, un régimen hídrico irregular, o deficiencias en el aporte de nutrientes, son las causas detrás de la aparición de brácteas insertas en la pella y cogollo irregulares y con protuberancias. Evitar el estrés térmico o escoger variedades resistentes al calor, asegurar el riego y ajustar el aporte de nutrientes son los mecanismos de prevención adecuados (New England Vegetable Management Guide, s.f.)



Figura 33. Inserción de bráctea en la pella. (Fuente: elaboración propia).

- Abotonamiento o ausencia de cogollos: si el trasplante se produce antes de que el brócoli haya desarrollado sus primeras 5-7 hojas o cuando las condiciones en el suelo no son adecuadas, es muy probable que la planta no pueda soportar una pella regular. También puede deberse al ataque de enfermedades o plagas o a períodos extremadamente calurosos (New England Vegetable Management Guide, s.f.).



Figura 34. Abotonamiento de la pella (Fuente: elaboración propia).

- Coloración marrón: la combinación de alta humedad y temperatura calida, reduce la transpiración de los botones florales que aún no se han abierto y toman una coloración amarilla. Este tejido puede ser una vía infecciosa y cuando el tejido empieza a necrosar se desprende de la pella hasta que esta se pudre por completo. A veces también está relacionada con desequilibrio en el balance de nutrientes, pero por la incerteza de la causa no se pueden dar recomendaciones de fertilización como solución. Sí que se sugiere combinar variedades que maduren distintos tiempos para que no se vea toda la plantación afectada (Bayer³, s.f.).



Figura 35. Coloración de la pella (Fuente: elaboración propia).

2. OBJETIVOS

El objetivo del presente proyecto es caracterizar 11 variedades de brócoli, cultivados en la zona del valle del Ebro durante la campaña 2023-2024, con relación a las exigencias de la industria congeladora, valorando al mismo tiempo su cumplimiento con los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2 y 12.

En primer lugar, para la consecución del objetivo, es necesario determinar los criterios de calidad que la industria dictamina que son los necesarios, pues se debe garantizar la distribución de un alimento sano y seguro (ODS 2). A continuación, se deben concretar los descriptores convencionales que van a definir cada una de las variedades. Una vez obtenidos los resultados, los dos propósitos de estudio serán, por un lado, determinar los parámetros productivos y, por otro lado, analizar los mencionados descriptores. De este modo, y relacionando ambos parámetros, se concluirá con la selección de variedades más aptas para la zona de estudio. Es vital conocer el comportamiento de distintas variedades para poder escoger aquella que esté por un lado, más acorde con el sistema de trabajo habitual de cada región y, por otro lado, que mejor rendimiento tenga haciendo uso de la menor cantidad de insumos (ODS 12).

Además, el segundo objetivo de esta investigación es profundizar en el estudio y en la evolución de la superficie del cultivo de brócoli en Aragón y su impacto económico en la misma. Para ello, se evalúa la evolución de la superficie de cultivo, se caracteriza el tipo de explotaciones predominantes por zonas y se detallan los distintos sistemas de cultivo. Las circunstancias sociales y económicas afectan mucho a la producción del brócoli, por lo que resulta interesante comentar el modelo de explotación que lo trabaja y las expectativas de futuro, para así comprobar si están siendo empujadas a competir en un mercado justo (ODS 2).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. EL MATERIAL VEGETAL Y SU EVOLUCIÓN

Las variedades de brócoli elegidas para llevar a cabo este ensayo han sido 10. Además, con el fin de comparar los resultados de estas nuevas variedades, se considera como testigo o variedad referencia la misma que cultiva el agricultor en el resto del campo. Se pueden identificar sus nombres y casa comerciales en la Tabla 7.

NÚMERO	VARIEDAD	CASA COMERCIAL
1	BR-10513	INTERSEMILLAS
2	25-BR841	RIJK ZWAAN
3	LARSSON	RIJK ZWAAN
4	SGD0122	SYNGENTA
5	TIRRENO	TOZER SEEDS
6	TEMPLARIO	RAMIRO ARNEDO
7	TRITON	SAKATA
8	BRO03184	SAKATA
9	ANDERSIA	SEMINIS
10	PARTHENON	SAKATA
11	TITANIUM	BAYER

Tabla 7. Nombres y casas comerciales de las variedades cultivadas.

No todas estas variedades están ya disponibles en el mercado, así que sólo se pueden recopilar las características que aportan las casas comerciales de algunas de ellas:

- Larsson de Rijk Zwaan: tiene la cabeza muy pesada, compacta y redonda, y regularmente está libre de enfermedades. Su tallo macizo no tiene gran cantidad de hojas. La recolección apta se da en primavera, otoño e invierno (Rijk Zwaan, s.f.).



Figura 36. Variedad Larsson
(Fuente: elaboración propia).

- Tirreno de Tozer Seeds: su pella es compacta y pesada, de forma abovedada, con floretes cortos, y grano fino y uniforme. Es apta para recolecciones entre finales de noviembre y finales de febrero. Destaca por su tolerancia a *Alternaria* sp. (Tozer Iberica, s.f.).



Figura 37. Variedad Tirreno (Fuente: elaboración propia).

- Triton de Sakata: tiene una gran cabeza de forma cupular, cuyos brotes evolucionan de verde claro a verde más oscuro conforme maduran, y los granos son de tamaño pequeño o medio. La única estación incompatible para su trasplante es el verano (Sakata¹, s.f.).



Figura 38. Variedad Triton (Fuente: elaboración propia).

- Andersia de Seminis: se caracteriza por un pella maciza, pesada y dolmeada, con floretes muy homogéneos y un grano fino. Además, su tallo carece de hojas. Presenta buena respuesta ante ataques fúngicos. Se recolecta en un máximo de 130 días tras el trasplante, en época de otoñal o invernal (Bayer¹, s.f.).



Figura 39. Variedad Andersia (Fuente: elaboración propia).

- Parthenon de Sakata: aunque la cabeza es de gran volumen, sus granos son muy pequeños y de color azul – verde oscuro, también es muy maciza. Es incompatible con las altas temperaturas, por lo que sólo resiste una cosecha tardía si se mantienen temperaturas bajas (Sakata², s.f.).



Figura 40. Variedad Parthenon
(Fuente: elaboración propia).

- Titanium de Seminis: su pella es compacta y pesada, pero el grano es fino, y el tallo tiene pocas hojas. No pasa de color verde a morado siempre y cuando no sufra subidas de temperaturas, por lo que para conservar sus propiedades y adaptarse a su velocidad de madurez en el sur de Europa se debe cultivar en invierno (Bayer², s.f.)



Figura 41. Variedad Titanium
(Fuente: elaboración propia).

Algunas imágenes sacadas en campo del resto de variedades son:

- BR-10513 de Intersemillas:



Figura 42. Variedad BR-10513 (Fuente: elaboración propia).

- 25-BR841 de Rijk Zwaan:



Figura 43. Variedad 25-BR841 (Fuente: elaboración propia).

- SGD0122 de Syngenta:



Figura 44. Variedad SGDO0122 (Fuente: elaboración propia).

- Templario de Ramiro Arnedo:



Figura 45. Variedad Templario (Fuente: elaboración propia).

- BRO03184 de Sakata:



Figura 46. Variedad BRO03184 (Fuente: elaboración propia).

El material vegetal llega al campo de ensayo en bandejas individuales. Anteriormente, las variedades han sido sembradas y criadas en viveros especializados, hasta que han sido aptas para el trasplante, es decir, hasta que han completado los dos primeros estadios fenológicos según la codificación BBCH. La velocidad con la que alcanzan y superan estas etapas difiere en cada variedad.

- En la etapa 0 (0 – 09) la semilla experimenta la imbibición, emerge la radícula y los cotiledones consiguen traspasar la superficie del suelo (Feller, C., et al., 1995).

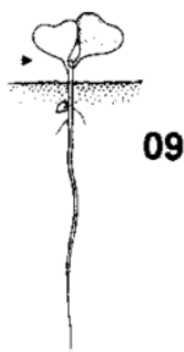


Figura 47. Fin del estado 0, según la codificación BBCH.

- Durante el estadio 1 (1 – 19) se desarrollan las hojas, mínimo 9 de ellas (Feller, C., et al., 1995).

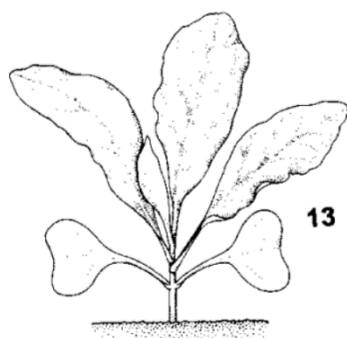


Figura 48. Primer tercio del estadio 1, según la codificación BBCH.



Figura 49. Fin del estadio 1, según la codificación BBCH.

- En el desarrollo de la etapa 2 inicia y finaliza la formación de mínimo 9 brotes laterales visibles (Feller, C., et al., 1995).
- La altura propia de cada variedad de brócoli se debe alcanzar durante el estadio 3 (Feller, C., et al., 1995).



Figura 50. Estadio 3, según la codificación BBCH

- Es en la etapa 4 cuando por fin se desarrolla la cabeza del brócoli, comenzando cuando su volumen es de al menos 1 cm³ y terminando cuando presenta la forma, el tamaño y la compactación particular de su variedad (Feller, C., et al., 1995).



Figura 51. Estadío 4, según la codificación BBCH.

- Los estadíos posteriores, estos son el 5, 6, 7, 8 y 9, consisten en la aparición de las primeras inflorescencias, la floración, la formación y maduración de los frutos y semillas y finalmente en la senescencia; sin embargo, estas etapas no se alcanzan en una plantación de brócoli cuyo objetivo es recolectar la hortaliza en un estado apto para su comercialización (Feller, C., et al., 1995).



Figura 52. Estadío 6, según la codificación BBCH.

3.2. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ENSAYO

Se deben tener en cuenta los factores externos que van a condicionar el desarrollo y rendimiento de las distintas variedades de cultivo. Por ello, es preciso conocer exactamente dónde se ha practicado el estudio, los eventos climáticos que han sucedido, las características del suelo en cuestión y las labores agrícolas que se han ejecutado con el fin de identificar si los resultados obtenidos dependen de estos agentes o de la propia planta.

E) LA PARCELA DE ENSAYO

La descripción de las variedades se lleva a cabo recogiendo datos del ensayo al aire libre que se practica en Garrapinillos, en el término municipal de Zaragoza, concretamente en la provincia 50, municipio 900, agregado 0, zona 0, polígono 153, parcela 26.



Figura 53. Parcela de ensayo según SIGPAC.



Figura 54. Vista de la parcela de ensayo.

F) EL CLIMA DE LA ZONA

En las tablas número 8, 9, y 10, se recogen algunos de las mediciones realizadas por la estación meteorológica que la Agencia Estatal de Meteorología tiene instalada en el Aeropuerto de Zaragoza durante los meses de ensayo. Adicionalmente, se elabora la

tabla 11 que recoge la media histórica mensual de algunos parámetros con el fin de comparar la campaña precedente con las anteriores. Se elige esta fuente de información por ser la estación oficial más próxima al ensayo, concretamente a menos de 6 kilómetros.

La interpretación de los datos indica que el mes en el que se lleva a cabo la plantación, septiembre, registra la mitad de sus días temperaturas superiores a los 30°C. Además, la temperatura máxima media es de 29,3°C, alcanzando el primero del mes los 34,4°C, y la mínima esta entorno a los 17,3°C. Al compararlos con los valores históricos se deduce que es un final de verano más caluroso de lo normal. En cambio, las precipitaciones y la humedad relativa revelan una relación inversa, y es que se tiene un mes notablemente más lluvioso este año, pues se recogen 48,6 mm, y se alcanza una humedad relativa del 59%. Se justifica por tanto que el mes de septiembre es, en esta ocasión, el ideal para la plantación de brócoli en Garrapinillos, pues se evitan las temperaturas del mes de agosto incluso superiores a las indicadas para septiembre, y se aprovecha la lluvia.

En octubre, noviembre y diciembre el brócoli experimenta su desarrollo vegetativo. Llama la atención las altas temperaturas de octubre, muy próximas a las que se sintieron a finales de verano, con esta temperatura media de 20,2°C y la máxima de 33,9°C, tan próxima a la de 34,4°C de septiembre.

En noviembre se perciben lluvias en menor volumen de lo habitual, concretamente fueron solo 24,6 mm. Si a esto se le añade que las temperaturas son de media más altas de las esperadas y que el viento es de media 18 m/s pero alcanza incluso los 30 m/s, se obtiene por tanto una humedad relativa también inferior a la esperada.

Llegados a diciembre se entra en el mes de posible inicio de recolección, pero se demora hasta finales de mes pues las temperaturas persisten en ser más altas de lo debido. Cuando la media diaria es de 7°C, este año es de 8,7°C, y es que la media de las temperaturas máximas es de 12,8°C cuando de normal es de 10,8°C.

Finalmente, llegando al mes de enero, se producen los eventos climáticos que traen el mayor volumen de recolección. La temperatura media del mes es casi el triple que la normal, de 7,8°C, y es que, como se puede comprobar, a pesar de ser invierno

se alcanzan temperaturas de 20,1°C en la tercera semana. Esto acelera exponencialmente el desarrollo de los frutos.

Se termina en el mes de febrero puesto que de nuevo las temperaturas son demasiado altas. Se intentado lograr el máximo desarrollo del fruto sin llegar a la sobremaduración, pero la temperatura media de 10,9°C lo dificulta.

FECHA	TEMP MIN ABS (DÍA)	TEMP MAX ABS (DÍA)	TEMP MIN MEDIA	TEMP MAX MEDIA	TEMP MEDIA	Nº DIAS T>30°C	Nº DIAS T<0°C
Septiembre 2023	11.8(24)	34.4(01)	17,3	29,3	23,3	14	0
Octubre 2023	9.8(22)	33.9(01)	14,8	25,6	20,2	7	0
Noviembre 2023	2.6(26)	24.5(13)	8,9	18,7	13,8	0	0
Diciembre 2023	-3.1(26)	20.1(11)	4,5	12,8	8,7	0	7
Enero 2024	-2.0(21)	20.1(18)	3,5	12,2	7,8	0	5
Febrero 2024	1.6(06)	20.5(22)	5,9	15,8	10,9	0	0

Tabla 8. Parámetros relacionados con la temperatura (en °C) registrados en la estación meteorológica del Aeropuerto de Zaragoza.

FECHA	PRECIP MAX	PRECIP	DIAS LLUVIA	Nº DIAS	HUMEDAD
Septiembre 2023	11.6(02)	48,6	9	3	59
Octubre 2023	19.0(19)	41,6	13	1	58
Noviembre 2023	7.2(02)	24,6	8	0	66
Diciembre 2023	7.2(07)	9,4	4	0	73
Enero 2024	15.2(19)	30	9	1	79
Febrero 2024	6.6(08)	28,8	9	0	70

Tabla 9. Parámetros relacionados con la precipitación (en mm) y la humedad relativa (en %) registrados en la estación meteorológica del Aeropuerto de Zaragoza.

FECHA	VELOC MEDIA	VELOC MAX
Septiembre 2023	11	16.1(04)
Octubre 2023	12	20.3(26)
Noviembre 2023	18	30.0(02)
Diciembre 2023	17	24.2(20)
Enero 2024	12	19.2(06)
Febrero 2024	17	21.7(27)

Tabla 10. Parámetros relacionados con el viento (en m/s) registrados en la estación meteorológica del Aeropuerto de Zaragoza.

Mes	TEMP MEDIA	TEMP MAX	TEMP MIN	PRECIP	HUMEDAD
Septiembre	21.2	27.1	15.2	30	57
Octubre	16.2	21.4	11.0	36	67
Noviembre	10.6	14.8	6.3	30	73
Diciembre	7.0	10.8	3.2	21	76
Enero	6.6	10.5	2.7	21	75
Febrero	8.2	13.1	3.3	22	67

Tabla 11. Valores medios históricos de los factores climatológicos registrados en la estación meteorológica del Aeropuerto de Zaragoza: temperatura en °C, precipitación en mm, y humedad en %.

G) ESTUDIO EDAFOLÓGICO DE LA PARCELA

Para caracterizar adecuadamente el suelo donde se realiza el ensayo, se recogen 3 muestras de suelo de los 30 primeros centímetros de suelo, y otras 3 muestras a una profundidad de entre 30 y 60 cm, y son analizadas en el Laboratorio Agroambiental del Gobierno de Aragón.

En la Tabla 12, se muestran los resultados (sobre masa seca al aire) referentes a la textura, obtenidos tras la analítica por el método de sedimentación.

Tabla 12. Datos de textura del suelo.

Aplicando el diagrama textural de la USDA se caracterizan ambos horizontes

TEXTURA	PROF. 0 - 30 CM	PROF. 30 - 60 CM
Arena total (0,05 - 2 mm)	34,92 %p/p	37,77 %p/p
Limo grueso (0,02 - 0,05 mm)	13,91 %p/p	13,11 %p/p
Limo fino (0,002 - 0,02 mm)	19,65 %p/p	17,67 %p/p
Arcilla (<0,002 mm)	31,52 %p/p	31,45 %p/p

como Franco-Arcillosos, de tipo fino. Los tres componentes están bastante equilibrados, pero aún así la textura tiende a ser arcillosa, lo que significa que el suelo es ligeramente plástico y pesado. La microporosidad y capacidad de intercambio catiónico serán moderadas, por lo que la capacidad de retención de agua y nutrientes será discreta. Por el contrario, si no está bien estructurado, la permeabilidad puede verse comprometida, lo que supone riesgo de encharcamiento.

Se miden diversos parámetros relativos a la fertilidad, cuyos resultados (sobre masa seca al aire) se muestran en la Tabla 13. El pH al agua (1:2,5) se mide por potenciometría con el método MT-SUE-007; la materia orgánica oxidable, el fósforo

soluble en bicarbonato sódico (Olsen) y el nitrógeno en forma de nitratos se miden por espectrofotometría según los métodos MT-SUE-002, MT-SUE-003 y MT-SUE-005; y el potasio (extracto acetato amónico) se mide por espectroscopía de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente según el método MT-SUE-008.

Tabla 13. Parámetros de fertilidad del suelo.

El pH es inferior a 8,5, es decir, moderadamente básico; la salinidad queda muy

FERTILIDAD	PROF. 0 - 30 CM	PROF. 30 - 60 CM
pH	8,2	8,3
Materia orgánica	3,16 g/100g	2,29 g/100g
Fósforo	121 mg/kg (1,25 meq/L)	88 mg/kg (0,91 meq/L)
Potasio	550 mg/kg (14,06 meq/L)	490 mg/kg (12,53 meq/L)
Nitratos	14 mg/kg (1 meq/L)	12 mg/kg (0,19 meq/L)
Salinidad	0,2 dS/m	0,2 dS/m

lejos de los 4 dS/m; y aunque el fósforo es alto, los niveles de nitrato son considerablemente bajos; por todo ello, se puede afirmar que el suelo no es salino.

El fósforo se encuentra en el rango de valores óptimos (50 – 150 mg/kg), por lo que no se espera que genere problemas. En cambio el potasio, que es clave para la nutrición, es demasiado alto, por lo que puede competir con el calcio o generar carencias de magnesio.

Los resultados (sobre masa seca al aire) de algunos minerales no silicatados, como el carbonato cálcico; los cationes de cambio, como el magnesio, y otros microelementos, como el hierro, el cobre, el manganeso y el cinc; se agrupan en la Tabla 14.

MINERALES Y MICROELEMENTOS	PROF. 0 - 30 CM	PROF. 30 - 60 CM
Carbonato cálcico	24 g/100g (4,8 meq/L)	27 g/100g (5,4meq/L)
Magnesio	282 mg/kg (23,21 meq/L)	270 mg/kg (22,22 meq/L)
Hierro	16,86 mg/kg (0,60 meq/L)	18,22 mg/kg (0,65 meq/L)
Cobre	6,86 mg/kg (0,21 meq/L)	4,62 mg/kg (0,15 meq/L)
Manganeso	8,42 mg/kg (0,31 meq/L)	9,44 mg/kg (0,34 meq/L)
Cinc	10,40 mg/kg (0,32 meq/L)	6,5 mg/kg (0,20 meq/L)

Tabla 14. Valores de minerales, cationes y microelementos del suelo.

H) LABORES AGRÍCOLAS EN EL CAMPO

Las labores previas a la plantación, así como las realizadas durante el ciclo productivo, han sido exactamente las mismas que el agricultor ha decidido practicar en el resto de su parcela, pues atienden a las necesidades del cultivo y a la forma de trabajo típica del territorio. Estas se esquematizan en la siguiente Tabla 15. Tras ella se realizan algunas aclaraciones.

FECHA	LABOR	HERRAMIENTA/TRATAMIENTO
25/06/2023	Laboreo	Chisel
10/07/2023	Laboreo	Arado de vertedera
15/07/2023	Nivelado	Láser
22/08/2023	Tratamiento herbicida	Pendimetalina 40% SC PV
23/08/2023	Laboreo	Chisel
09/09/2023	Fertilización	NPK 10-7-20
09/09/2023	Laboreo	Conjunto cultivador-rastra-cilindro
19/09/2023	Plantación	Trasplantadora
19/09/2023	Riego	A manta
26/09/2023	Riego	A manta
03/10/2023	Tratamiento múltiple 1	Lambda Cihalotrin 10% [CS] P/V + Propaquizafop 10% [EC] P/V + Clorantraniliprol 35% [WG] P/P
08/10/2023	Riego	A manta
17/10/2023	Fertilización	NAC 27
02/11/2023	Riego	A manta
25/11/2023	Fertilización	Yarabela Sulfan 24%
04/12/2023	Riego	A manta
11/12/2023	Tratamiento múltiple 2	Metalaxil 25% [WP] P/P + Azoxistrobin 20% + Difenconazol 12,5% [SC] P/V
20/12/2023	Riego	A manta
01/01/2024	Inicio de recolección	Corte manual

Tabla 15. Calendario de labores agrícolas realizadas en la parcela de ensayo.

- Laboreo: la sesión con chisel y con arado de vertedera tienen como fin eliminar los restos del cultivo precedente, en este caso habas, y toda la vegetación espontánea. Además, como el arado realiza una labor profunda y de volteo, también busca descompactar el suelo para facilitar el desarrollo radicular y agilizar la absorción de agua. El conjunto de cultivador, rastra y cilindro realiza una labor superficial, y deja un terreno suelto y uniforme ideal para la plantación.
- Nivelado: para facilitar el riego a manta y evitar hacer un mal uso del agua, se realiza un nivelado de la pendiente de la parcela previo a la plantación.
- Tratamiento con Pendimetalina 40% [SC] PV: el nombre comercial del producto aplicado es Ordago SC (Nº Registro: 25551). Se aplica una única dosis en postemergencia de 3 l/ha mediante el pulverizador suspendido de marca y modelo Gaspardo Uragano 4000, el cual se utiliza para todos los tratamientos de líquidos. Al día siguiente es incorporado al

suelo mediante laboreo con chisel. Es un tratamiento pretrasplante cuyo objetivo es evitar malas hierbas durante los 2 – 3 siguientes.

- Fertilización: el abono NPK 10-7-20 se incorpora con una dosis de 700 kg/ha con abono NPK granulado, y es enterrado mediante el conjunto de cultivador, rastra y cilindro. Esta primera aplicación aporta 70 kg N₂/ha, 49 kg de P₂O₅/ha, y 140 kg de K₂O/ha. La segunda fertilización es base de NAC 27, la cual aporta 95 kg N₂/ha. El último abonado es con Yarabela Sulfa 24%, gracias a la cual se añaden otros 84 70 kg N₂/ha. La dosis total de NPK resulta en 249 – 49 – 140, ligeramente superior a las recomendaciones dadas pero se corresponden con la estimación de una producción alta.
- Plantación: mediante una trasplantadora manual se planta el brócoli en la parcela.

Figura 55. Trasplantadora manual de brócoli (Fuente: elaboración propia).



- Riegos: el primer riego inmediatamente después de la plantación es el más importante. En este caso es a manta, por gravedad.
- Tratamiento múltiple 1: se aplican tres materias activas al mismo tiempo porque son compatibles. Una de ella es Lambda Cihalotrin 10% [CS] P/V (Nombre comercial: Kendo; N° Registro: 24942), para atacar el pulgón,

con dosis de 0,2 l/ha. Otra materia es Propaquizafop 10% [EC] P/V (Nombre comercial: Agil; N° Registro: 19140), que elimina mono y dicotiledóneas aplicado en una dosis de 1 l/ha. La última sustancia es Clorantraniliprol 35% [WG] P/P (Nombre comercial: Altacor 35 WG; N° Registro: 25296) contra los Lepidópteros, con dosis de 0,80 kg/ha.

- Tratamiento múltiple 2: se aplica simultáneamente dada su compatibilidad dos sustancias activas. El Metalaxil 25% [WP] P/P (Nombre comercial: Armetil 25 WP; N° Registro: 25330) es para el Mildiu, y se aplica una sola dosis de 0,80 kg/ha. La mezcla de Azoxistrobin 20% + Difenconazol 12,5% [SC] P/V (Nombre comercial: Amistar; N° Registro: 25407) es para la Mancha Negra, y se aplica una sola dosis de 1 l/ha.

La decisión de realizar las citadas labores se basa en un criterio puramente técnico. Previamente a su realización se ha valorado si eran inexcusables, y de serlo, se ha analizado el método y momento más oportuno para ejecutarlas. Las decisiones se basan en las directrices de la Guía de Gestión Integrada de Plagas y en el asesoramiento de personal cualificado para que la plantación tenga éxito a la vez que se hace un uso eficiente de fitosanitarios, fertilizantes, agua y combustible. Estos cuatro elementos han sido cuidadosamente adaptados a las exigencias de cultivo para asegurar la sostenibilidad de la producción (ODS 12).

3.3. DISEÑO DEL EXPERIMENTO

Las plantas están separadas en una misma fila por una distancia constante de 42 cm; mientras que la separación entre las filas es de 75 y 85 cm por la disposición de la plantadora. De este modo, la densidad de la parcela de ensayo es de 3,72 plantas/m², y la del campo completo es de 37.200 plantas/ha.



Figura 56. Separación entre filas de siembra.

Cada variedad ocupa una única hilera, y consta de 24 plantas, por lo que se dividen cada una de ellas en dos grupos A y B, de 12 plantas en cada caso, para disponer de 2 repeticiones del ensayo.

2B	4B	6B	8B	10B	
<hr/>					
2A	4A	6A	8A	10A	
1B	3B	5B	7B	9B	11B
<hr/>					
1A	3A	5A	7A	9A	11A

Figura 57. Esquema de la disposición de las variedades en el ensayo.



Figura 58. Disposición de las variedades en la parcela de ensayo.

La fecha de plantación es el 19 de septiembre de 2023, un poco más tarde de lo que habitualmente lo hacen los agricultores locales, pero en beneficio de las plantas por las altas temperaturas que se registraban las semanas previas en esa zona.

3.4. PARÁMETROS EVALUADOS

3.4.1. Criterios de calidad para la recolección

El destino del brócoli es la industria, cuyas exigencias deben complacer tanto la satisfacción del consumidor como el beneficio económico. Por ello, los criterios de recolección que se deben seguir cuando se cosecha brócoli para la industria son muy específicos.

Las características comunes tanto para la industria de producto fresco como la de congelado puntualizadas por la revista Navarra Agraria en diversas ediciones a lo largo de los años: grano fino y compacto, ramilletes a la misma altura, tallo compacto, ausencia de hojas interiores, floretes no demasiado grandes, color verde claro, cabeza en forma ovalada (Lahoz García, I. et al., mayo – junio, 2020).

Antes incluso de la recolección se debe estimar el porcentaje de brócoli aptos para la recolección de cada campo, para valorar así si compensa acceder a la parcela, pisar el terreno y recoger algunas plantas. Una vez se ha decidido dar comienzo a la cosecha, se deben descartar aquellas cabezas cuyos floretes presenten irregularidades extremas en su forma y aquellas que muestren los granos abiertos o muy gruesos. Tampoco se pueden recolectar los brócolis con decoloración acusada, bien por falta de nutrientes o por enfermedades, o completamente sobremaduros. El color debe ser verde claro pero uniforme. Un rasgo muy importante es la firmeza de la cabeza, la cual puede disminuir conforme avanza la maduración, por lo que no se puede permitir que los brócolis pierdan la compacidad estando aún en el campo.

Entre los que manifiestan todas las características adecuadas, se debe establecer un criterio en el volumen de pella que se quiere cortar. En función del número de recolecciones que se efectúen sobre una misma plantación, se tendrá una cosecha más o menos regular en tamaños y pesos, puesto que una cosecha escalonada permite recoger cada vez sólo los ejemplares que han alcanzado su máximo desarrollo, sin perder parte del potencial del cultivo (ODS 12). Además, según este criterio, posteriormente la industria exigirá clasificarlos según unos rangos de calibre.

Por su parte, las particularidades que exige el congelado son pellas sin tallo y de peso superior a 600 g, siempre y cuando se preserve la calidad, pues lo que prima es el peso medio de la inflorescencia para aumentar el rendimiento industrial. A modo comparativo, indicar que para fresco se demanda un tallo de 8 a 10 cm y pesos de 500 a 600 g (Rodríguez Eguílaz, J. J., marzo – abril 2008).

El motivo por el cual la industria del congelado no admite brócoli con tallo es que no necesita conservar fresco el producto, por lo que el peso y volumen que este ocupa reduce su rendimiento. Además, como se ha explicado al inicio, la tendencia es hacia la industrialización total del proceso productivo. Aunque en este caso la recolección todavía es manual, ya en el troceado aparecen máquinas diseñadas para trabajar con unas dimensiones predeterminadas, como por ejemplo la largura y el diámetro de tallo máximos que son capaces de cortar. Dimensiones mayores o menores a la de referencia ralentizan el proceso porque requiere de labor humana o contribuyen al desperdicio de alimentos, detalle contra el que se trabaja (ODS 2).

Otras exigencias como el tamaño de grano, la ausencia de tonalidad morada o la predilección por los floretes redondeados responden con las exigencias del consumidor, que no tiene nada que ver con la mecanización del proceso o la calidad del producto.

Todo lo citado tiene unos niveles de tolerancia admisibles que establece la empresa receptora del material, como se ha podido ver en la Tabla 5.

3.4.2. Caracterización de los frutos: descriptores convencionales

Las entradas han sido caracterizadas siguiendo los descriptores establecidos por la IBPGR (1990). Los elegidos para la descripción se corresponden con aquellos de mayor interés para la actividad agrícola e industrial. El orden en el que son descrito y evaluados coincide con el orden en el que fueron medidos en cada planta.

A) **DÍAS DESPUÉS DE TRASPLANTE (DDT)**: determinación de la longitud del ciclo, en base al número de días desde la plantación hasta la recolección:

- Ciclo corto: de 50 a 75 días.
- Ciclo medio: de 76 a 120 días.
- Ciclo largo: más de 120 días.

B) **ALTURA DE RECOLECCIÓN**: elevación, medida en centímetros, desde el suelo hasta el extremo de la pella.

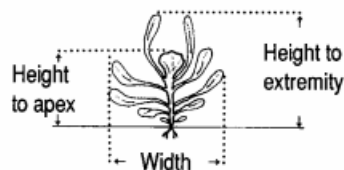


Figura 59. Esquema según IPGRI (1990) de la altura de recolección ("Height to apex").



Figura 60. Medida de la altura de recolección (Fuente: elaboración propia).

C) **GRANULOMETRÍA**: tamaño de las inflorescencias en el momento de la cosecha, medida según:

1. Grano muy fino.
2. Grano moderadamente pequeño.
3. Grano medio.
4. Grano ligeramente grande.
5. Grano vasto.

D) **COMPACIDAD:** solidez de la pella en el día de la recolección, escalada según:

1. Pérdida total de la consistencia.
2. Ligera consistencia.
3. Consistencia estándar.
4. Consistencia ligeramente superior.
5. Máxima consistencia.

E) **DIÁMETRO DEL TRONCO:** grosor del tallo, expresado en centímetros (cm), tras ser cortado a 10 cm de la cabeza.



Figura 61. Medida del diámetro del tronco (Fuente: elaboración propia).

F) **ALTURA DE LA CABEZA:** longitud medida, en centímetros (cm), desde la parte inferior a la superior de la cabeza.

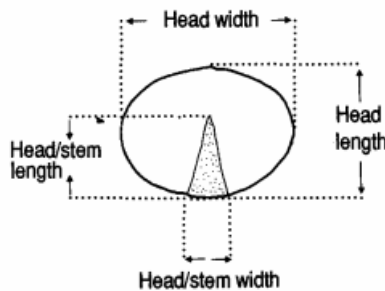


Figura 62. Esquema según IPGRI (1990) de la altura de la cabeza ("Head lenght").



Figura 63. Medida de la altura de la cabeza (Fuente: elaboración propia).

G) ARCO: longitud medida, en centímetros (cm), desde el inicio de los brotes de un extremos y el inicio de los del extremo opuesto.

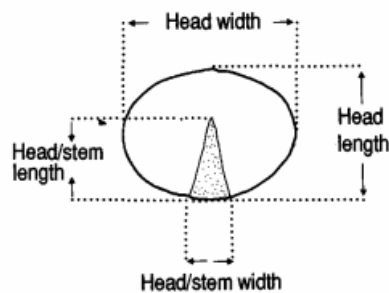


Figura 64. Esquema según IPGRI (1990) del arco ("Head width").



Figura 65. Medida del arco de la pella (Fuente: elaboración propia).

- H) **PESO:** peso, expresado en gramos (g), de la recolección del órgano en campo, es decir, de la pella y un tronco de 10.



Figura 66. Peso con tronco (Fuente: elaboración propia).

- I) **PESO SIN TRONCO:** peso, expresado en gramos (g), solamente de la pella íntegra.



Figura 67. Peso sin tronco (Fuente: elaboración propia).

J) **PESO TROCEADO:** peso, expresado en gramos (g), de la pella troceada para industria.



Figura 68. Peso del troceado (Fuente: elaboración propia).

K) **RENDIMIENTO TROCEADO:** relación entre el peso sin tronco y el peso de los floretes troceados de cada planta, expresada en tanto por ciento (%).

3.6. DISEÑO DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para el análisis del comportamiento de los distintos descriptores convencionales se utiliza el programa estadístico SPSS. Durante todo el estudio se considera un nivel de confianza del 95%, por lo que, comenzando en primer lugar con la Prueba de Shapiro-Wilk se constata que la distribución de los parámetros es para todos ellos normal, excepto para la variable de DDT.

Teniendo en cuenta que el análisis de la varianza (ANOVA) es lo suficientemente robusta como para analizar datos no paramétricos, se utiliza para realizar el análisis de varianza de todos los descriptores, incluidos los DDT. Si para algún parámetro se determina que existencia diferencias entre las variedades, se realiza la prueba post hoc de Tuckey para poder entender qué variedades se comportan estadísticamente igual y cual comparten semejanzas.

Finalmente, con el objetivo de entender como influyen una características sobre otras y especialmente sobre el rendimiento industrial, se han calculados los coeficientes

de correlación de Pearson para cada pareja de propiedad. Así se podrá comprender como se comportan en general estas variedades estudiadas y escoger entre las más productivas.

3.7. DISEÑO DEL ANÁLISIS DE IMPORTANCIA DEL BRÓCOLI EN ARAGÓN

La información recopilada para elaborar la descripción acerca de la importancia del brócoli en Aragón ha sido consultada en el Anuario de Estadística del Ministerio Agricultura, Pesca y Alimentación, así como en el Instituto Aragonés de Estadística.

Por su parte, los datos relativos a la solicitud de PAC de 2023, provienen de la información proporcionada por el Gobierno de Aragón para la elaboración posterior de los mapas ilustrativos.

La información ha sido comentada mostrando un orden cronológico y siempre haciendo referencia a la información más reciente disponible.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. EVALUACIÓN DEL MATERIAL VEGETAL

4.1.1. Parámetros productivos

A la hora de evaluar la calidad de una variedad no sólo se pueden tener en cuenta las propiedades físicas que se han medido. Es importante valorar la producción acumulada que ofrecen para así determinar su productividad, pues la rentabilidad no sólo radica en el rendimiento del troceado que reporta cada planta por individual, sino que también influyen las probabilidades de supervivencia de las variedades. La industria trabaja con agricultores que exigen que la inversión que realizan en cultivar brócoli resulte rentable, por lo que es importante trabajar variedades que tras el trasplante no de fallos. Así mejora el rendimiento entre la superficie cultivada y la superficie neta de la que se obtiene un buen producto, que es vital para mantener una producción sostenible (ODS 12) desde la producción primaria. No es viable cultivar variedades que consuman muchos recursos pero que acaben fracasando en términos de producción total, por un buen rendimiento de troceado que tengan.

Por ello se realiza el análisis estadístico que se muestra en la Tabla 16, con tasa que indica la proporción de plantas que, aunque son cultivadas en las mismas condiciones, no logran desarrollarse correctamente. Las que tienen mejor comportamiento, incluso que Parthenon, son Templario y BRO03184, pues no tienen tasa de faltas. En la situación contraria se encuentra Andersia, que presenta una tasa de faltas del 29.17%. El resto de variedades, donde se incluye Parthenon, son estadísticamente iguales.

VARIEDAD	FALTAS (%)
TEMPLARIO	0 ± 0 a
BRO03184	0 ± 0 a
25-BR841	8,33 ± 0 ab
PARTHENON	12,5 ± 5,89 ab
BR-10513	16,67 ± 0,00 ab
TITANIUM	16,67 ± 11,79 ab
SGD0122	20,83 ± 5,89 ab
TRITON	20,83 ± 5,89 ab
LARSSON	25 ± 11,79 ab
TIRRENO	25 ± 11,79 ab
ANDERSIA	29,17 ± 5,89 b

Tabla 16. Porcentaje de plantas que no han logrado un correcto desarrollo. Las medias seguidas por la misma letra, no presentan diferencias significativas.

Descartando el porcentaje de faltas de cada variedad, empleando la misma densidad de plantación que en este ensayo, es decir 37.200 plantas/ha, y tomando como referencia el peso medio de recolección sin tronco (porque es para congelado) de cada variedad, se representan en la Figura 69 las producciones estimadas por unidad de superficie que percibiría un agricultor que cosechara estas variedades según las exigencias de la industria congeladora. En la misma Gráfica, ponderando con el correspondiente rendimiento tras el troceado, también se representa la cantidad de kilos de material comercializable que obtendría la industria. Para una mejor interpretación de la evolución de los pesos, en el eje horizontal las variedades han sido organizadas de mayor a menor peso de pella sin tronco.

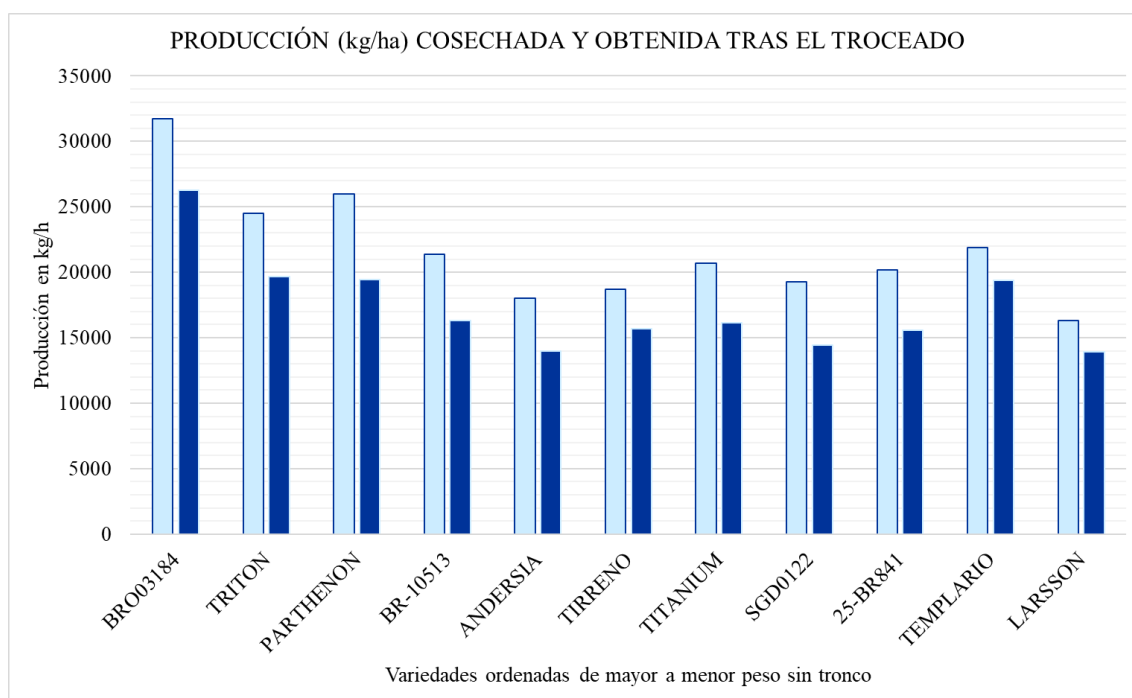


Figura 69. Producción de brócoli sin tronco recogido en campo para congelado y producción de material vegetal comercializable, expresados por hectárea.

En Tabla 17 se observa que los kilos cosechados en campo solo establecen las diferencias significativas suficientes para crear tres grupos. Por un lado, destaca BRO03184 con la producción más alta. Por otro lado, el conjunto de Larsson, Andersia, Tirreno, SGD0122, 25-BR841 y Titanium reportan las peores producciones. En una situación intermedia se encuentra en resto de variedades, y entre ellas Parthenon.

VARIEDAD	PRODUCCIÓN COSECHADO (kg/ha)
LARSSON	16332,35 ± 1650,81 a
ANDERSIA	18024,95 ± 1863,53 a
TIRRENO	18719,35 ± 1811,80 a
SGD0122	19251,00 ± 3027,78 a
25-BR841	20196,50 ± 1974,27 a
TITANIUM	20718,85 ± 2160,45 a
BR-10513	21355,00 ± 2160,45 ab
TEMPLARIO	21858,10 ± 1111,96 ab
TRITON	24510,15 ± 1993,12 ab
PARTHENON	25967,15 ± 2972,81 ab
BRO03184	31745,55 ± 2185,86 b

Tabla 17. Resultados de la estimación de la producción cosechada. Las medias seguidas por la misma no presentan diferencias significativas.

Posteriormente, al sacar las diferencias entre la producción final del troceado, en la Tabla 18, en el grupo de las variedades con menor rendimiento encontramos las mismas que se había determinado para la producción cosechada y se le suma BR-10513. De este modo, BRO03184 sigue siendo la que más destaca, mientras que la variedad testigo se mantiene junto con el resto de variedades en la categoría intermedia.

VARIEDAD	PRODUCCIÓN TROCEADO (kg/ha)
LARSSON	13929,47 ± 1337,93 a
ANDERSIA	13944,85 ± 1371,43 a
SGD0122	14437,12 ± 1676,23 a
25-BR841	15559,82 ± 1249,39 a
TIRRENO	15679,11 ± 1369,95 a
TITANIUM	16154,08 ± 1555,17 a
BR-10513	16280,63 ± 1555,17 a
TEMPLARIO	19393,44 ± 943,61 ab
PARTHENON	19395,33 ± 1627,83 ab
TRITON	19624,49 ± 1476,08 ab
BRO03184	26237,74 ± 1712,53 b

Tabla 18. Resultados de la estimación de la producción troceada. Las medias seguidas por la misma no presentan diferencias significativas

4.1.2. Valoración de los descriptores convencionales

A) DÍAS DESPUÉS DE TRASPLANTE (DDT)

No todos los brócolis de una misma variedad alcanzan el estado de maduración óptimo para la cosecha al mismo tiempo así que se realizan entre 1 y 4 recolecciones por variedad. Este rango depende tanto de la velocidad de desarrollo de las plantas y la climatología, como de la rentabilidad por parte del agricultor de invertir más tiempo y combustible, lo que conlleva inversión de tiempo y dinero a riesgo de que la cosecha después no lo cubra.

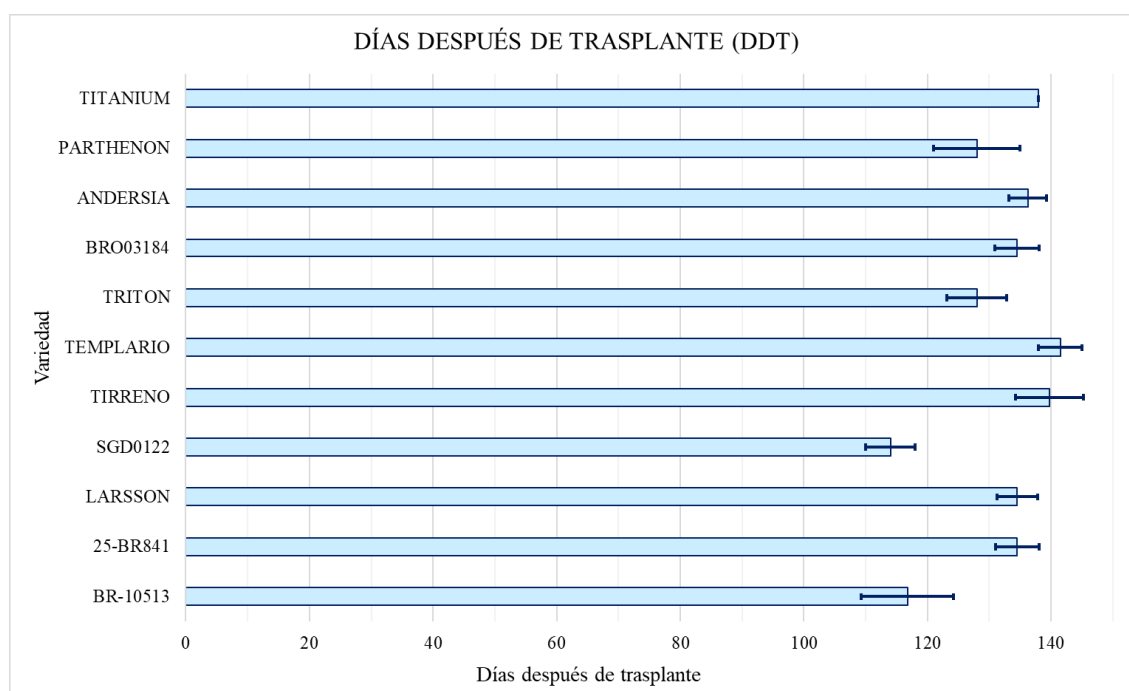


Figura 70. Representación de los DDT medios de cada variedad.

En la Tabla 19 se exponen los días exactos en los que se recogen ejemplares y el porcentaje sobre el total que representaba. Es necesario puntualizar que un gran número de brócolis recogidos no implica necesariamente más kilos de producción, pues el peso es otra característica totalmente independiente.

En número de recolecciones destaca BR-10513, pues son necesarias 4 cosechas, las cuales además se extienden 19 días. Además la recolección entre ellas es irregular y de escaso valor.

La variedad Triton se demora un día más, es decir 20, y de hecho es la que destaca en este sentido, pero en cambio requiere de una recolección menos que BR-10513. La recolección del 8 de enero no fue apenas trascendental, pues el grueso de la cosecha se obtuvo principalmente entre el 22 y el 28 de enero.

También fueron 3 recolecciones necesarias para Tirreno, Parthenon y SGD0122, aunque los días de diferencia entre ellas se van reduciendo a 14, 13 y 11, respectivamente. SGD0122 y Tirreno coincide que sólo en la última cosecha se pudo pasar del 50%, pues las anteriores veces no se lograba una gran cosecha.

Salvo Titanium, que permite sacar la cosecha en un solo día, el resto de variedades demandan 2 repasos separados por 1 semana de tiempo. Llama la atención el equilibrio entre las cosechas de BRO03184, que son 50-50, y que 25-BR841, Larsson y Andersia coinciden en tener una mayor producción en la segunda recolección.

VARIEDAD	FECHAS DE RECOLECCIÓN Y PORCENTAJE DE BRÓCOLIS RECOGIDOS							Nº RECOLECCIONES	DÍAS DE RECOLECCIÓN
	03/01/2024	08/01/2024	14/01/2024	22/01/2024	28/01/2024	04/02/2024	11/02/2024		
BR-10513	15,00%	35,00%	15,00%	35,00%				4	19
25-BR841					40,91%	59,09%		2	7
LARSSON					33,33%	66,67%		2	7
SGD0122	10,53%	31,58%	57,89%					3	11
TIRRENO					16,67%	27,78%	55,56%	3	14
TEMPLARIO						41,67%	58,33%	2	7
TRITON		5,26%		52,63%	42,11%			3	20
BRO03184					50,00%	50,00%		2	7
ANDERSIA					23,53%	76,47%		2	7
PARTHENON				38,10%	52,38%	9,52%		3	13
TITANIUM						100,00%		1	1

Tabla 19. Calendario de recolecciones de las variedades del ensayo.

En la Tabla 20 se encuentran diferencias estadística entre los DDT. Tanto SGD0122 como BR-10513 son las variedades más precoces, por delante de la variedad testigo Parthenon. Los DDT de Parthenon son considerados estadísticamente iguales a los de Triton. Los DDT que superan inmediatamente a los del testigo son los de 25-BR841, Larsson y BRO03184. A continuación se encuentra Andera, después Titanium, luego Tirreno y finalmente Templario, siendo todas ellas estadísticamente distintas.

VARIEDAD	DDT (días)
SGD0122	114,00 ± 3,95 a
BR-10513	116,75 ± 7,42 a
TRITON	128,00 ± 4,85 b
PARTHENON	128,00 ± 6,98 b
25-BR841	134,50 ± 3,52 c
LARSSON	134,50 ± 3,29 c
BRO03184	134,50 ± 3,58 c
ANDERSIA	136,25 ± 3,06 cd
TITANIUM	138,00 ± 0,00 cde
TIRRENO	139,75 ± 5,44 de
TEMPLARIO	141,50 ± 3,53 e

Tabla 20. Resultados de los DDT. Las medias seguidas por la misma no presentan diferencias significativas.

B) ALTURA DE RECOLECCIÓN

La altura de recolección es una característica importante de valorar a la hora de hacer más eficiente la recolección. Cuando la realizan personas, resulta más cómodo que la planta sea alta para que lleguen a ella antes. Pensando en el diseño de máquinas automáticas, sería importante conocer la altura media de la variedad a cosechar así como su variabilidad puesto que sería necesario programar la altura del corte que ejecutaría la máquina.

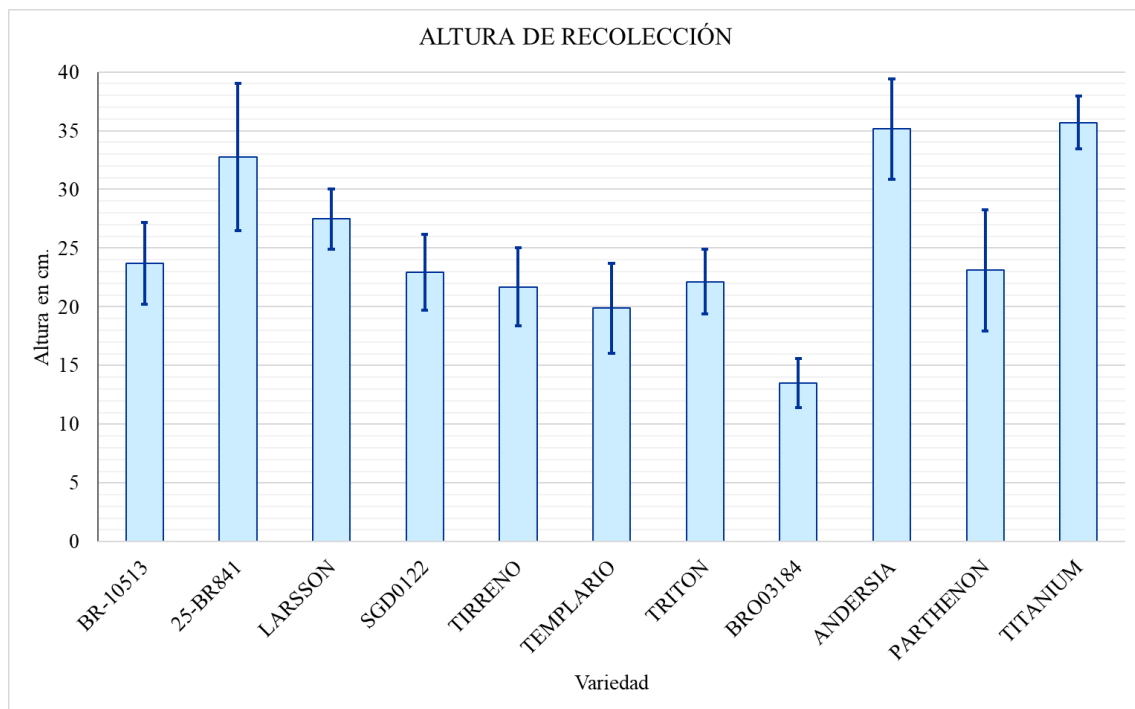


Figura 71. Representación de la Altura de recolección medio de cada variedad.

Según este análisis estadístico de la Tabla 21, las variedad que destaca por su reducida altura es BRO03184. Otra variedad de corta altura que no se considera igual a ninguna otra es Templario. Un poco más alta se encuentra Parthenon, aunque Triton, SGD0122 y BR-10513 son iguales a ella. Larsson también tiene tendencia a ser alta, pero destacan especialmente, por un lado 25-BR841, y por otro lado Andersia y Titanium.

VARIEDAD	ALTURA RECOLECCIÓN (cm)
BRO03184	13,5 ± 2,11 a
TEMPLARIO	19,88 ± 3,81 ab
TIRRENO	21,7 ± 3,31 bc
TRITON	22,14 ± 2,74 bc
SGD0122	22,95 ± 3,22 bc
PARTHENON	23,1 ± 5,16 bc
BR-10513	23,7 ± 3,47 bc
LARSSON	27,48 ± 2,55 cd
25-BR841	32,73 ± 6,27 de
ANDERSIA	35,14 ± 4,27 e
TITANIUM	35,7 ± 2,25 e

Tabla 21. Resultados de la altura de recolección. Las medias seguidas por la misma letra no presentan diferencias significativas.

C) GRANULOMETRÍA

Los consumidores generalmente tienen el pensamiento erróneo de que cuanto más fino es el grano del brócoli mayor calidad posee. A pesar de que no es así, la industria prefiere evitar las variedades de grano grueso para complacer al cliente, y por ello es interesante revisar la granulometría.

La complejidad de la valoración de este parámetro, radica en su medición, pues es totalmente visual. Tal y como se ha descrito en el apartado 3.4.2, se ha establecido un rango de 1 a 5, que evoluciona de un grano muy fino a uno muy vasto, siendo el valor 3 el grano medio habitual.

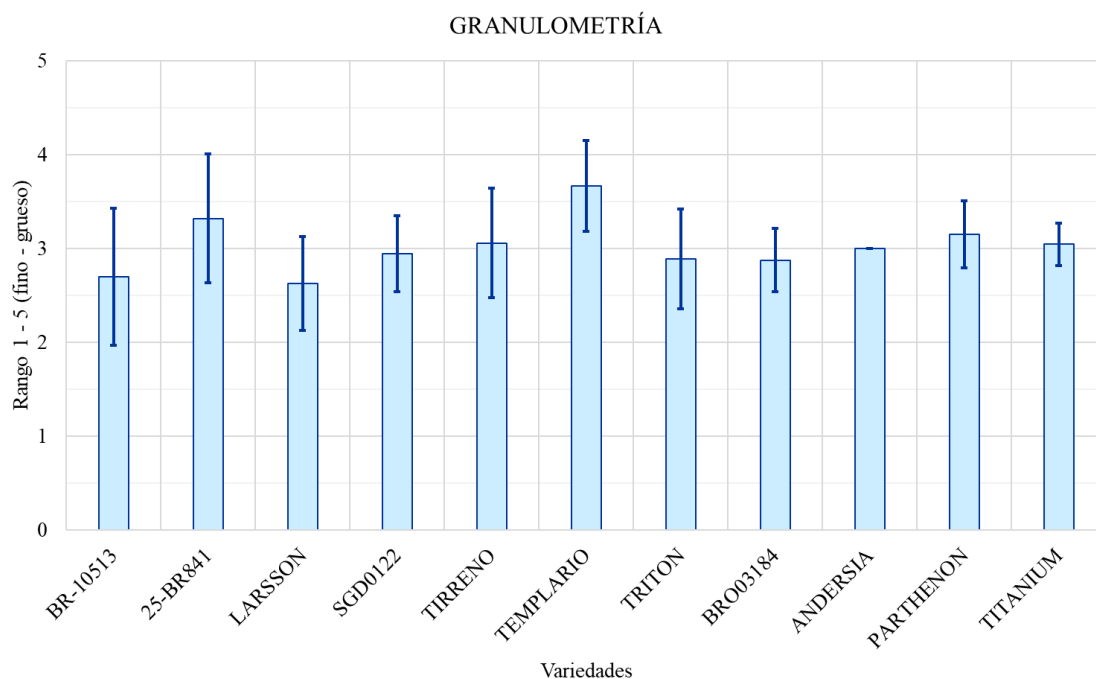


Figura 72. Representación de la Altura de recolección medio de cada variedad.

En base a la granulometría media calculada y en referencia a la Tabla 22, la variedad que mejor cumple con el deseo del consumidor es Larsson. También son considerablemente más finas incluso que Parthenon el conjunto de BRO03184, Triton, SGD0122 y Andersia. Se considera que tanto Titanium como Tirreno tiene el mismo grosor medio que Parthenon, y que sólo son superadas por 25-BR841 y Templario, que cumplirían con la peor característica.

VARIEDAD	GRANULOMETRÍA (1-5)
LARSSON	2,63 ± 0,50 a
BR-10513	2,7 ± 0,73 ab
BRO03184	2,88 ± 0,34 ab
TRITON	2,89 ± 0,32 ab
SGD0122	2,94 ± 0,40 ab
ANDERSIA	3 ± 0 ab
TITANIUM	3,05 ± 0,22 abc
TIRRENO	3,06 ± 0,42 abc
PARTHENON	3,15 ± 0,36 abc
25-BR841	3,32 ± 0,48 bc
TEMPLARIO	3,67 ± 0,48 c

Tabla 22. Resultados de la granulometría. Las medias seguidas por la misma letra no presentan diferencias significativas.

D) COMPACIDAD

La disminución de compacidad puede estar motivada por dos causas distintas. Una de ellas es que el brócoli no haya sido recogido a tiempo, haya madurado demasiado, es decir, haya alcanzado el estadio BBCH 6 y haya iniciado la formación de inflorescencia. En este estudio los brócolis completamente sobremaduros se han considerado una falta; sin embargo, sí que se han aceptado aquellos que aun habiendo perdido algo de compacidad sí que son aptos para recogerlos. Estos son los que ha sido asignado con el grado 1, pues conforme aumenta esta graduación la compacidad de la pella se ha considerado mayor.

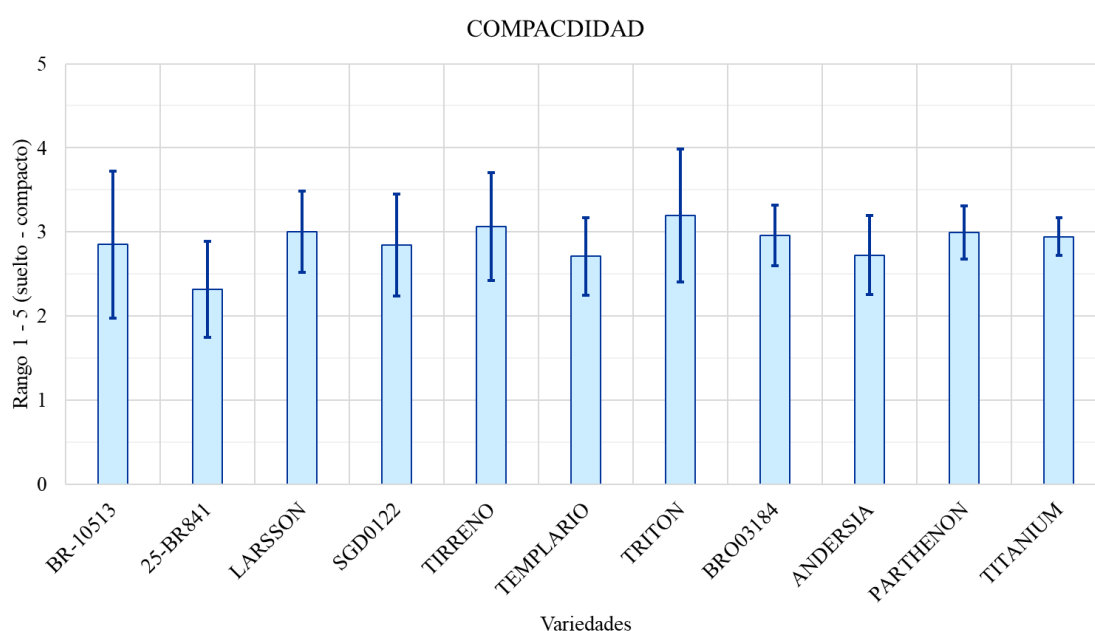


Figura 73. Representación de la Compacidad medio de cada variedad.

Esta variable se considera homogénea, pues como se puede ver en la Tabla 23 no se encuentran diferencias significativas entre los resultados. Simplemente se puede observar que 25-BR841 es aparentemente menos compacta que el resto y por lo tanto peor para la comercialización, mientras que Triton sería la ideal. En este caso Parthenon tendría justo la compacidad estándar.

VARIEDAD	COMPACIDAD (1-5)
25-BR841	2,32 ± 0,57 a
TEMPLARIO	2,71 ± 0,46 a
ANDERSIA	2,72 ± 0,47 a
SGD0122	2,84 ± 0,60 a
BR-10513	2,85 ± 0,88 a
TITANIUM	2,94 ± 0,22 a
BRO03184	2,96 ± 0,36 a
PARTHENON	3 ± 0,32 a
LARSSON	3 ± 0,49 a
TIRRENO	3,06 ± 0,64 a
TRITON	3,19 ± 0,79 a

Tabla 23. Resultados de compacidad. Las medias seguidas por la misma letra no presentan diferencias significativas.

E) DIAMETRO DEL TRONCO

El diámetro del tronco también es otro parámetro de gran interés para la industria porque representa un peso considerable del material vegetal que recibe, por el que le pagan al agricultor, y que luego debe desechar. Por ello buscan variedades con diámetros pequeños donde el peso principal corresponda a la pella. Además, a la hora de ser cortados por personas, unos tallos muy anchos o muy duros hacen que el trabajo sea aún más tedioso. A la hora de automatizar los procesos también es importante conocer las dimensiones del tronco, para poder diseñar y programar las máquinas sin que se desperdicien brócolis por tener un tallo demasiado ancho o demasiado estrecho.

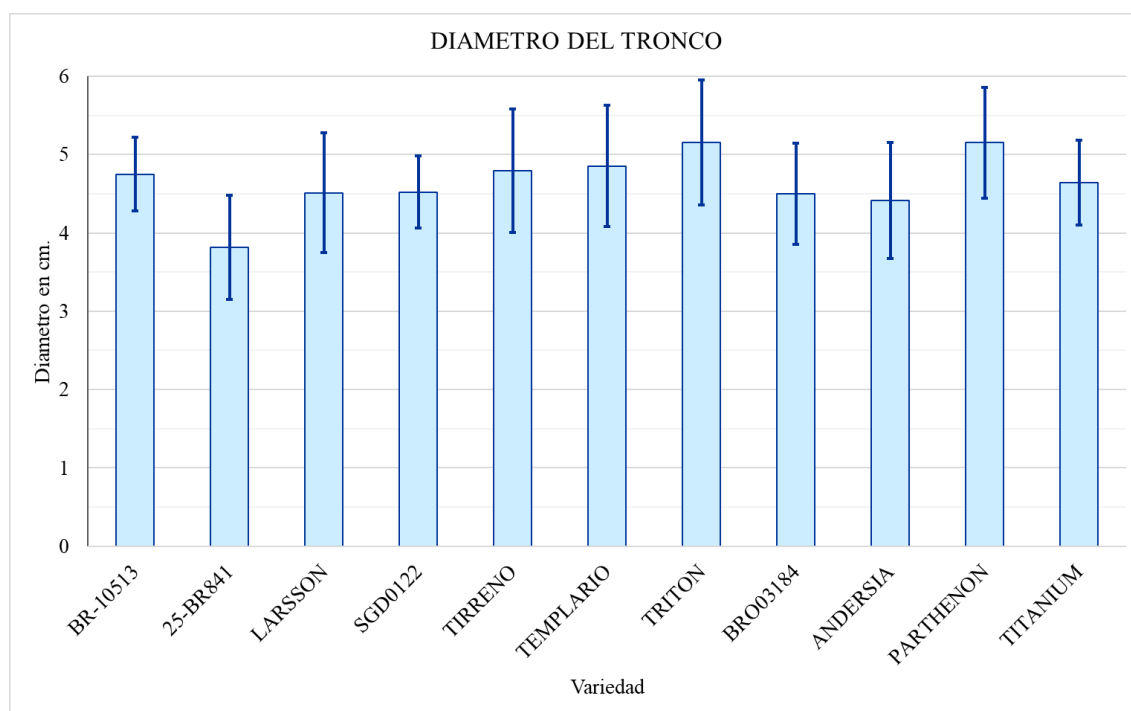


Figura 74. Representación de la Compacidad medio de cada variedad.

Las diferencias significativas indicadas en la Tabla 24 que se encuentran en el tronco demuestran que Parthenon, así como Tirreno, Templario y Triton son las variedades con un ancho de tronco mayor. Excepto 25-BR841 que es la más estrecha por excelencia, el resto se consideran estadísticamente iguales.

VARIEDAD	DIÁMETRO TRONCO (cm)
25-BR841	3,82 ± 0,66 a
ANDERSIA	4,41 ± 0,74 ab
BRO03184	4,50 ± 0,64 ab
LARSSON	4,51 ± 0,77 ab
SGD0122	4,52 ± 0,46 ab
TITANIUM	4,64 ± 0,54 ab
BR-10513	4,75 ± 0,47 ab
TIRRENO	4,79 ± 0,79 b
TEMPLARIO	4,85 ± 0,77 b
PARTHENON	5,15 ± 0,71 b
TRITON	5,16 ± 0,80 b

Tabla 24. Resultados del diámetro del tronco. Las medias seguidas por la misma letra no presentan diferencias significativas.

F) ALTURA DE LA CABEZA

La altura de la cabeza, que se asemeja a la altura de un casquete esférico, está directamente relacionada con su forma, pues cuanto mayor sea esta medida más esférico es el brócoli, que es lo que visualmente le resulta más atractivo al consumidor.

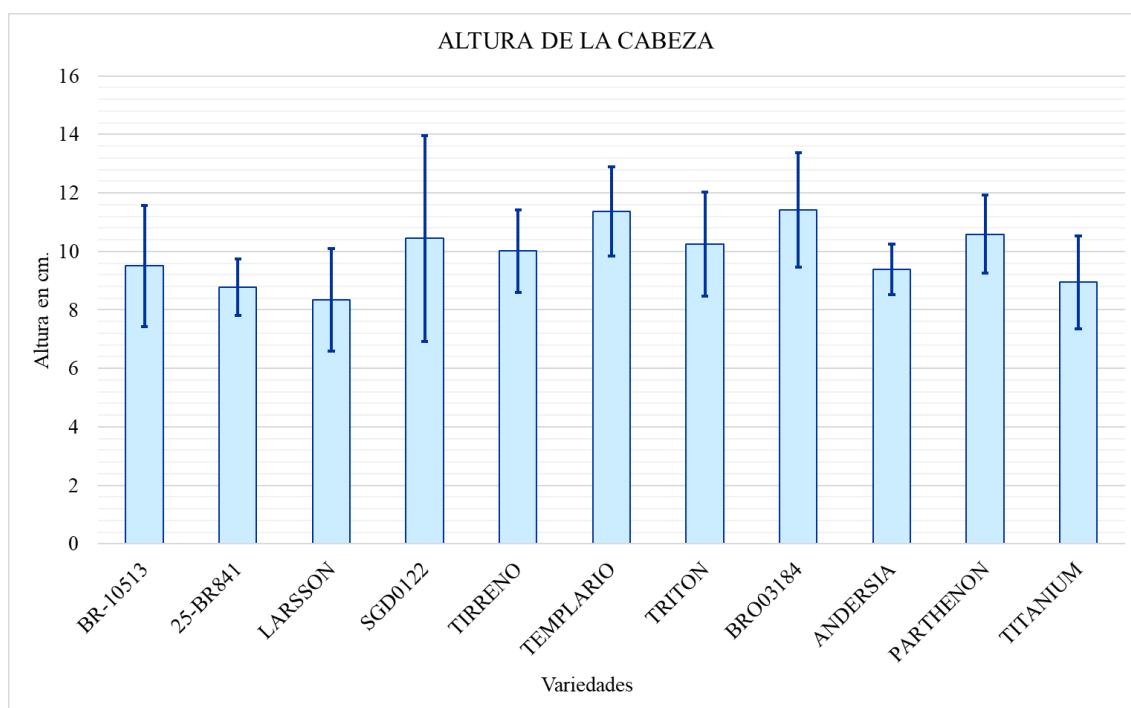


Figura 75. Representación de la Altura de la cabeza media de cada variedad.

Analizando los resultados de la Tabla 25 se determina que las variedades que tienden a ser las más achatadas, incluso que Parthenon, son Larsson, 25-BR841 y Titanium. Tanto Templario como BRO03184 son más altas que el testigo, la cual no demuestra diferencias con Andersia, BR-10513, Tirreno, Triton ni SGD0122.

VARIEDAD	ALTURA PELLA (cm)
LARSSON	8,35 ± 1,75 a
25-BR841	8,77 ± 0,97 a
TITANIUM	8,95 ± 1,59 a
ANDERSIA	9,38 ± 0,86 ab
BR-10513	9,50 ± 2,06 ab
TIRRENO	10,01 ± 1,41 ab
TRITON	10,24 ± 1,78 ab
SGD0122	10,44 ± 3,52 ab
PARTHENON	10,59 ± 1,33 ab
TEMPLARIO	11,38 ± 1,53 b
BRO03184	11,42 ± 1,95 b

Tabla 25. Resultados de la altura de pella. Las medias seguidas por la misma letra no presentan diferencias significativas.

G) ARCO DE LA PELLA

Se puede interpretar que el arco es como la longitud del casquete esférico. El arco depende tanto de la altura de la cabeza, como del radio, por lo que su medida varía en función de la geometría de la pella de cada variedad.

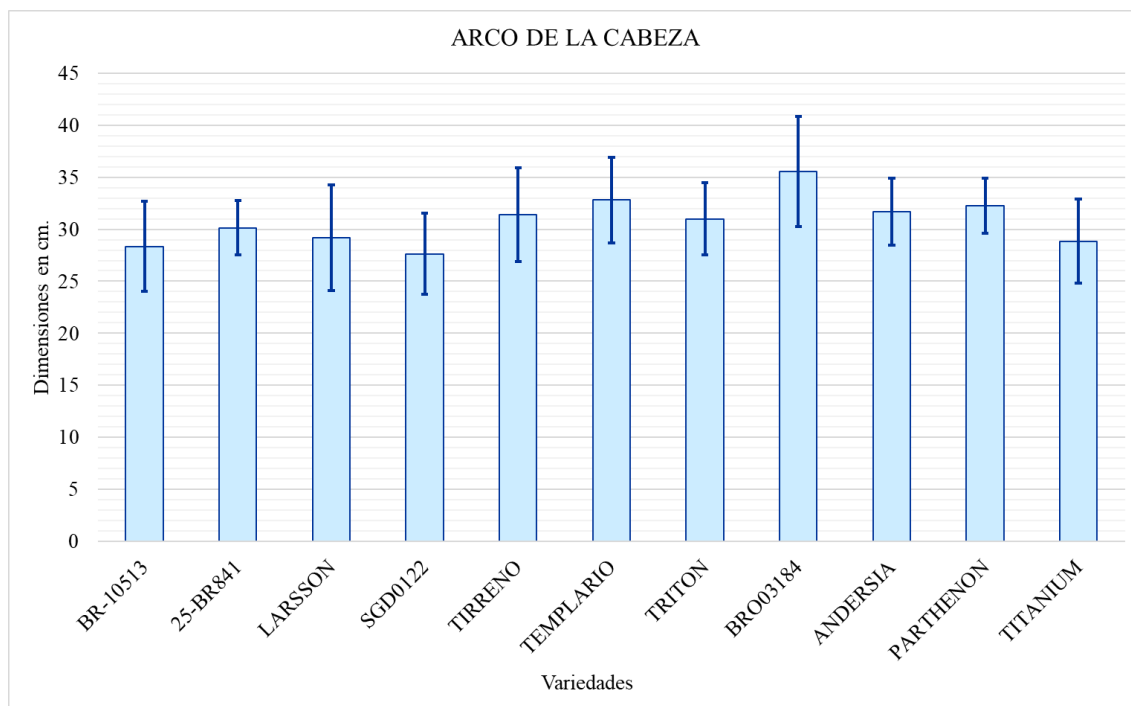


Figura 76. Representación del Arco de la cabeza medio de cada variedad.

En base a los resultados obtenidos en este ensayo y mostrados en la Tabla 26, se determinan muchas diferencias en las dimensiones del arco de la pella. En los extremos se encuentran SGD0122, con el arco más reducido, y BRO03184, con el arco más ancho. También Templario tiene un gran arco que supera al de Parthenon, la cual no se puede considerar para este parámetro igual a ninguna otra variedad. Sin embargo, no se encuentran más variedades con arco mayor al de Parthenon ya que el de Andersia es menor, los del conjunto semejante formado por Tirreno, Triton, 25-BR841 y Larsson resulta más cortos, y el de Titanium también es menor.

VARIEDAD	ARCO PELLA (cm)
SGD0122	27,63 ± 3,88 a
BR-10513	28,35 ± 4,34 ab
TITANIUM	28,85 ± 4,02 abc
LARSSON	29,20 ± 5,06 abcd
25-BR841	30,14 ± 2,62 abcd
TRITON	30,99 ± 3,49 abcd
TIRRENO	31,40 ± 4,50 abcd
ANDERSIA	31,71 ± 3,22 bcde
PARTHENON	32,24 ± 2,64 cde
TEMPLARIO	32,79 ± 4,14 cd
BRO03184	35,54 ± 5,26 d

Tabla 26. Resultados de la altura de pella. Las medias seguidas por la misma letra no presentan diferencias significativas.

H) PESO DE RECOLECCIÓN

En el peso de recolección se incluye también el peso del tallo y aunque en la cosecha para congelado no se permiten tallos tan grandes como para fresco, que son de hasta 10 cm, todavía representan un parte importante del peso por el cual se le paga al agricultor y del que después la industria no saca provecho.

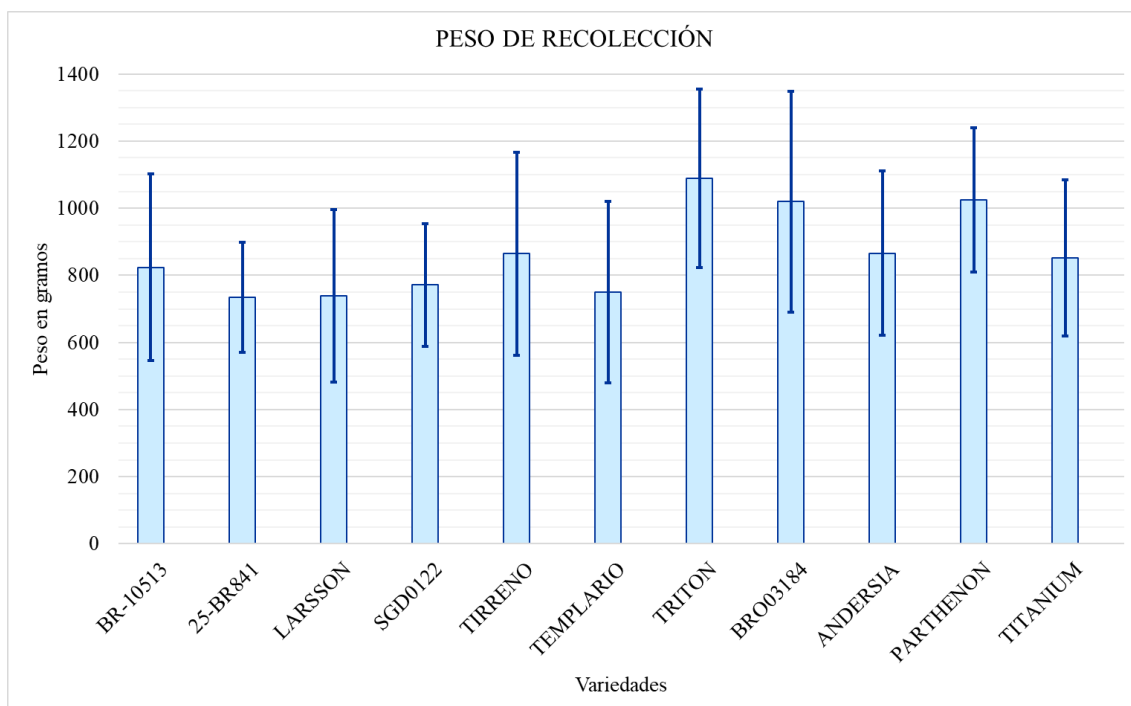


Figura 77. Representación del Peso de recolección en fresco medio de cada variedad.

En la Tabla 27 se muestran los resultados obtenidos tras la cosecha y por los que se establecen diferencias entre variedades, si bien no son muy diferenciadoras. Mientras que Tritón es la única que sobresale por su alto peso, en el otro extremo se encuentran las tres variedades más ligeras, que son 25-BR841, Larsson y Templario. En la categoría intermedia está Parthenon, junto con el resto de variedades con las que no logra diferenciarse.

VARIEDAD	PESO CON TRONCO (g)
25-BR841	734,45 ± 163,61 a
LARSSON	739,4 ± 257,03 a
TEMPLARIO	749,92 ± 271,12 a
SGD0122	770,98 ± 183,69 ab
BR-10513	823,85 ± 277,88 ab
TITANIUM	852,66 ± 232,54 ab
TIRRENO	864,25 ± 303,02 ab
ANDERSIA	866,19 ± 244,72 ab
BRO03184	1019,58 ± 328,73 ab
PARTHENON	1024,23 ± 215,24 ab
TRITON	1088,32 ± 265,88 b

Tabla 27. Resultados de la altura de pella. Las medias seguidas por la misma letra no presentan diferencias significativas.

I) PESO SIN TRONCO

Una vez desprovisto el brócoli de su tronco se puede medir el peso de la pella completa, con corazón incluido. Así se podrá saber realmente una vez se haya troceado el brócoli cuánto peso representan los floretes, que es lo beneficioso para la empresa, y cuánto representa el corazón, que no puede ser transformado en alimento para consumo humano. También es una variable homogénea, lo que significa que marcaba la diferencia entre los pesos de recolección no era la pella por sí sola, sino el variable grosor y peso del tallo.

Al menos observando tanto la Figura 78 como la Tabla 28, se puede saber que Larsson, Templario y 25-BR841 tienden a tener pesos más bajos. En cambio Triton ya no destaca por ser la más pesada, lo hace BRO03184, y ambas logran superar a Parthenon.

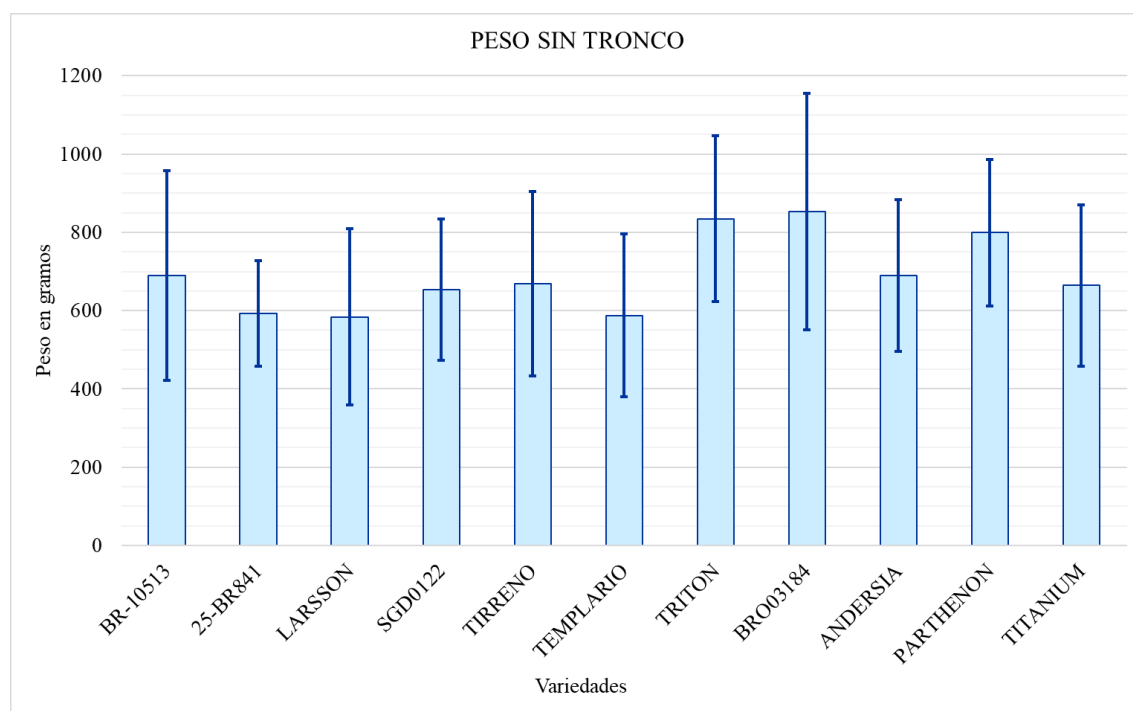


Figura 78. Representación del Peso sin tronco medio de cada variedad.

VARIEDAD	PESO SIN TRONCO (g)
LARSSON	583,93 ± 224,52 a
TEMPLARIO	587,58 ± 207,55 a
25-BR841	592,27 ± 135,33 a
SGD0122	653,21 ± 180,99 a
TITANIUM	664,3 ± 206,65 a
TIRRENO	668,53 ± 235,39 a
BR-10513	689 ± 267,98 a
ANDERSIA	689,93 ± 193,22 a
PARTHENON	799,13 ± 186,80 a
TRITON	834,76 ± 211,64 a
BRO03184	853,38 ± 302,38 a

Tabla 28. Resultados de la altura de pella. Las medias seguidas por la misma letra no presentan diferencias significativas.

J) PESO DEL TROCEADO

Una vez se ha retirado del brócoli tanto el tronco con el que se coge sólo si se va a vender en fresco, como el corazón de la pella, sólo restan los floretes. Este es el material vegetal realmente interesante porque es con el que la industria obtiene rendimiento. Como no todas las variedades se comportaban igual, ha resultado ser una variable no homogénea.

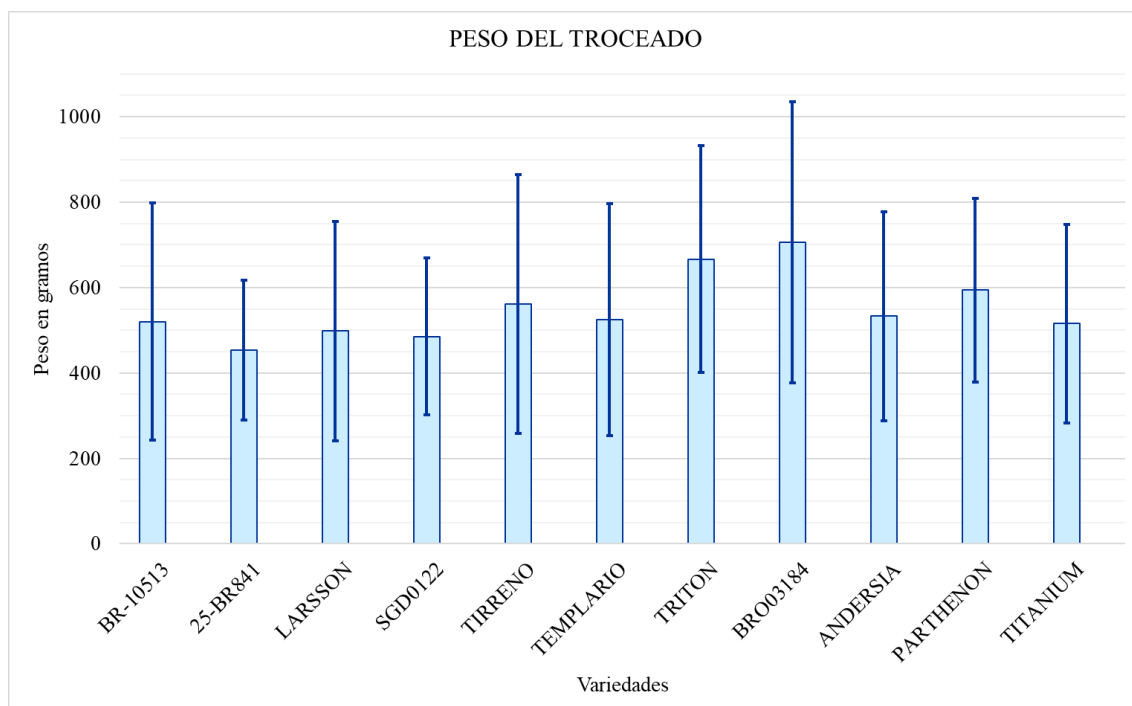


Figura 79. Representación del Peso del troceado medio de cada variedad.

En la Tabla 29 aparece 25-BR841 como la variedad más ligera, algo similar a lo que le ocurría al valorar su peso sin tronco. Algo más pesadas son tanto SGD0122 como Larsson, y son seguidas del conjunto formado por Parthenon, Tirreno, Andersia, Templario, BR-10513 y Titanium. Se considera que Triton tiene mayor peso que Parthenon, y que la que más peso reporta de todas es BRO 03184.

VARIEDAD	PESO TROCEADO (g)
25-BR841	453,59 ± 89,04 a
SGD0122	485,35 ± 119,77 ab
LARSSON	498,35 ± 188,48 ab
TITANIUM	515,29 ± 154,42 abc
BR-10513	520,30 ± 188,26 abc
TEMPLARIO	520,33 ± 180,89 abc
ANDERSIA	532,91 ± 146,22 abc
TIRRENO	561,41 ± 199,85 abc
PARTHENON	593,56 ± 138,36 abc
TRITON	666,67 ± 169,41 bc
BRO03184	705,79 ± 252,06 c

Tabla 29. Resultados del peso troceado. Las medias seguidas por la misma letra no presentan diferencias significativas.

K) RENDIMIENTO DEL TROCEADO

El rendimiento es el último parámetro calculado pero uno de los más importante, pues establece la relación entre el peso del brócoli recogido en campo y el peso de brócoli comercializable por la empresa. De este modo se puede saber qué porcentaje de peso representan los floretes que cumplen con todas las exigencias de la industria y que por lo tanto van a ser congelados y comercializados.

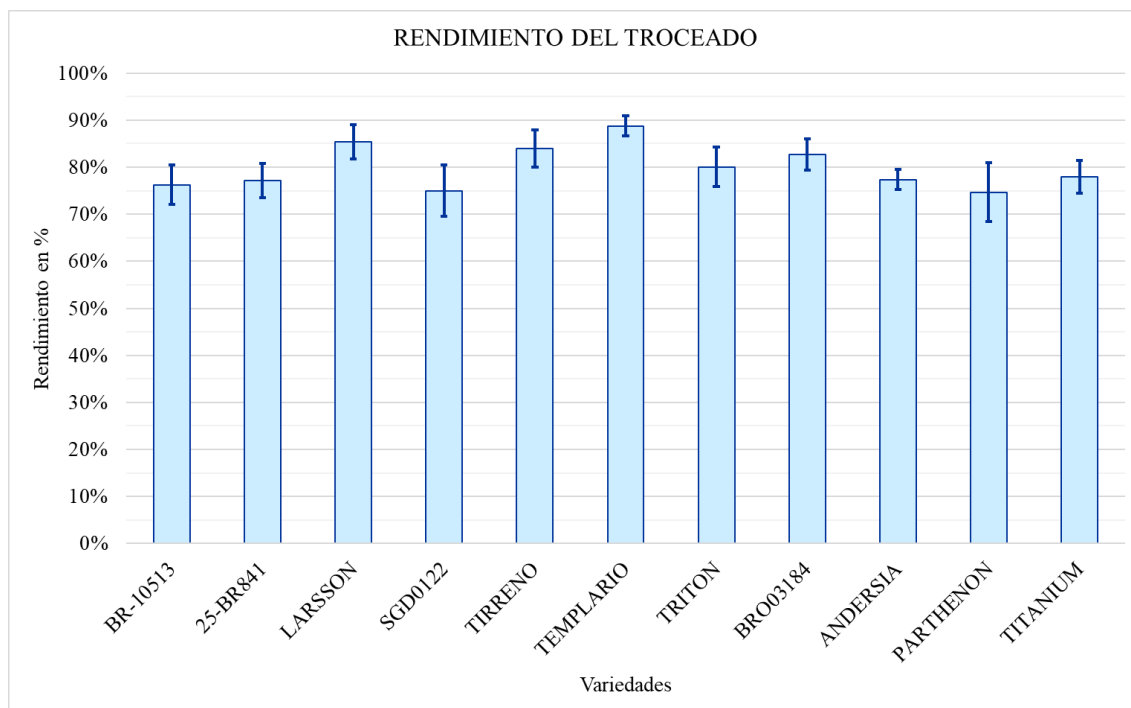


Figura 80. Representación del Rendimiento de troceado medio de cada variedad.

Se ha determinado que es una variable homogénea por lo que es muy importante profundizar en diferencias más pequeñas para poder, por un lado, descartar las variedades de menos rendimiento y, por otro lado, potenciar las de mayor rendimiento. Es necesario distinguir qué variedades sometidas a unas determinadas condiciones edafoclimáticas se desarrollan mejor y destacar las que menos han sufrido el ataque de plagas o enfermedades. También es vital fomentar la competencia entre variedades para que se esté constantemente estudiando sobre ellas y aspirando a mejorarlas.

Como se puede observar en la Tabla - Parthenon es la que peor rendimiento devuelve, y se considera igual a lo que ofrecen SGD0122 y BR10513. Tanto 25-BR841 como Andersia logran ser un poco mejor que ella. En orden creciente de rendimiento

del troceado están Titanium, Triton, BRO03184, Tirreno, Larsson y especialmente Templario, pero no se logran establecer diferencias significativas entre ellas.

VARIEDAD	RENDIMIENTO TROCEADO (%)
PARTHENON	74,66 ± 6,25 a
SGD0122	75,01 ± 5,51 a
BR-10513	76,24 ± 4,23 a
25-BR841	77,11 ± 3,62 ab
ANDERSIA	77,38 ± 2,19 ab
TITANIUM	77,97 ± 3,46 abc
TRITON	80,07 ± 4,2 abcd
BRO03184	82,65 ± 3,29 bcde
TIRRENO	83,92 ± 3,95 bcd
LARSSON	85,44 ± 3,63 cd
TEMPLARIO	88,73% ± 2,13 d

Tabla 30. Resultados del rendimiento del troceado. Las medias seguidas por la misma letra no presentan diferencias significativas.

4.1.3. Relación entre parámetros

En la Tabla 31 se muestran los coeficientes de relación de Pearson que demuestran la tendencia de comportamiento de los descriptores en estas variedades en conjunto.

Uno de los factores más importantes es que el rendimiento no disminuya. El único parámetro que tiene correlación significativa con él son los DDT y puesto que es positiva se puede decir que la tendencia es que cuanto más largo es el ciclo de maduración mayor peso de floretes se obtiene. Esto significa que cultivar las variedades más precoces en esta zona no son las más rentables para la industria del congelado, ya que lo que interesa es obtener una producción neta alta. Aunque una variedad precoz da la oportunidad de retirarla del campo en caso de que no esté evolucionando correctamente, cuando se dan épocas demasiado cálidas para las necesidades del cultivo, las pellas entran antes en floración, perdiendo así peso, compacidad y calidad. Muy ligado al tiempo de maduración va el número de recolecciones que exige cada variedad hasta recoger el máximo número de pellas, así como el intervalo de días entre ellas. Estos dos parámetros si que se requiere que sean mínimos, pues permiten reducir horas de trabajo y por lo tanto coste económico en personal y maquinaria.

Además se suele fomentar que el cultivo tenga altura de recolección alta para facilitar la labor de los operarios, pero esto, según el tipo de correlaciones que se han calculado, hace disminuir en gran medida la altura de la cabeza (correlación significativa a nivel 0,01) y el arco, y en consecuencia hace bajar el peso tras el troceado. Aunque la correlación entre el peso tras el troceado y el rendimiento no es significativa, sí que cabe destacar que es positiva, así que es importante procurar que la altura de recolección no acabe perjudicando al rendimiento. También se detecta correlación positiva no significativa entre la altura de recolección y el número de faltas, por lo que es otro motivo para tener en cuenta cómo de altas se quieren las plantas.

Por otro lado, el diámetro del tronco está directamente relacionado con la compacidad, incluso a nivel 0,01. Por ello, aunque las variedades con troncos más estrechos son más rentables para la industria, tanto del punto de vista económico como mecánico, no es permisible rebajar la compacidad excesivamente porque es una característica muy bien valorada del brócoli. Asimismo, cuanto más compacta es la pella más peso se reporta.

Aunque no se considera significativo a este nivel estadístico, es de relevancia comentar que la altura y el arco de la cabeza tienen correlación positiva, lo que significa que la tendencia es a formar de pellas esférica. Esta característica es importante porque las formas planas son más susceptibles a enfermedades como la Mancha Negra (*Alternaria brassicae*), que se deposita sobre ellas y resiste gracias a la humedad que se acumula. Si por este motivo la enfermedad lograra alcanzar el umbral de daño productivo, el rendimiento de las variedades disminuiría.

Finalmente se confirma la estrecha vinculación (correlación significativa a nivel 0,01) entre el peso de recolección, el peso sin tronco y el peso tras el troceado. Aunque ninguno de ellos tiene correlación significativa con el rendimiento final, resulta llamativo que el peso de recolección y el peso sin tronco tenga correlación negativa, por lo que se debería vigilar el peso de los troncos y de los corazones que ahí se están incluyendo para no perjudicar el rendimiento industrial del producto.

		Correlaciones											
		DDT	Altura recolección	Granulometría	Compacidad	Diámetro tronco	Altura cabeza	Arco	Peso	Peso sin tronco	Peso troceado	Rendimiento troceado	Faltas
DDT	Correlación de Pearson	--											
	N	11											
Altura recolección	Correlación de Pearson	,174	--										
	Sig. (bilateral)	,609											
	N	11	11										
Granulometría	Correlación de Pearson	,471	,016	--									
	Sig. (bilateral)	,144	,963										
	N	11	11	11									
Compacidad	Correlación de Pearson	-,099	-,411	-,506	--								
	Sig. (bilateral)	,771	,209	,112									
	N	11	11	11	11								
Diámetro tronco	Correlación de Pearson	-,122	-,445	-,050	,791**	--							
	Sig. (bilateral)	,720	,170	,883	,004								
	N	11	11	11	11	11							
Altura cabeza	Correlación de Pearson	-,039	-,806**	,386	,225	,470	--						
	Sig. (bilateral)	,909	,003	,242	,505	,145							
	N	11	11	11	11	11	11						
Arco	Correlación de Pearson	,532	-,516	,329	,087	,156	,648*	--					
	Sig. (bilateral)	,092	,104	,323	,799	,647	,031						
	N	11	11	11	11	11	11	11					
Peso	Correlación de Pearson	-,055	-,389	-,208	,628*	,601	,447	,520	--				
	Sig. (bilateral)	,872	,237	,539	,039	,050	,168	,101					
	N	11	11	11	11	11	11	11	11				
Peso sin tronco	Correlación de Pearson	-,198	-,473	-,289	,563	,501	,506	,518	,967**	--			
	Sig. (bilateral)	,560	,142	,388	,071	,117	,112	,103	<,001				
	N	11	11	11	11	11	11	11	11	11			
Peso troceado	Correlación de Pearson	,076	-,633*	-,205	,629*	,523	,600	,707*	,908**	,915**	--		
	Sig. (bilateral)	,825	,037	,545	,038	,099	,051	,015	<,001	<,001			
	N	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11		
Rendimiento troceado	Correlación de Pearson	,650*	-,378	,247	,155	,109	,226	,419	-,188	-,261	,147	--	
	Sig. (bilateral)	,030	,251	,483	,650	,749	,503	,200	,580	,439	,666		
	N	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	
Faltas	Correlación de Pearson	-,183	,479	-,545	,324	,069	-,580	-,541	-,059	-,132	-,239	-,263	--
	Sig. (bilateral)	,589	,136	,083	,331	,839	,061	,085	,864	,699	,479	,435	
	N	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11

*. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Tabla 31. Coeficientes de correlación de Pearson entre todos los parámetros de todas las variedades.

4.2. SELECCIÓN DE LAS LÍNEAS

Tras analizar cómo han influido los descriptores en cada una de las variedades e interpretar cuáles de ellos van a permitir tener mejor rendimiento industrial, se procede a la selección de algunas de ellas como las más idóneas para ser cultivadas en la zona de ensayo o en una similar y bajo el mismo manejo. Se debe recalcar que este ensayo sólo se ha realizado una campaña, por lo que para establecer conclusiones más exactas debería ser repetido en próximos años.

En base a las conclusiones obtenidas en el estudio de la relación de parámetros, para la selección de variedades se ha valorado que el ciclo de maduración fuera largo, la altura de recolección baja, el diámetro del tronco preferiblemente ancho. Por ello se han seleccionado las 4 mejores para discutir particularmente sus características y compararlas respecto al testigo, puesto que son las únicas que se encontraban entre las mejores categorías de los respectivos parámetros:

- **TIRRENO:** sus DDT son de 139,75 días y se logró cosechar en 3 etapas, con un intervalo de 14 día, por lo que es el segundo con el ciclo más largo. En cuanto a la altura de recolección, posee la 3 más baja, pero estadísticamente no presenta diferencias con Parthenon. También destaca por tener uno de los troncos más anchos, de 4,79 cm, similar al de Parthenon.
- **TEMPLARIO:** se pudo recolectar toda la variedad en 2 veces con una diferencia de 7 días. También destaca el gran equilibrio entre los dos repasos, pues en la primera se obtuvo casi el 42% de las inflorescencias comerciales y lo restante en la segunda, además de que la tasa de faltas fue de 0, a lo que se le suma que su DDT fue de 141,50 días (el más alto de todas las variedades). Su altura de recolección media es de 19,88 cm, que es la segunda más baja (sólo por detrás de BRO03184). El diámetro medio de su tronco es 4,85 cm, lo que la sitúa justo por detrás de Parthenon y Triton.
- **TRITON:** se considera que sus DDT, que son de 128 días son estadísticamente iguales a los obtenidos para Parthenon, aunque requirió de 3 recolecciones espaciadas 20 días entre sí. Por su altura de recolección, aunque es más baja que la de Parthenon porque es de 22,14 cm, se consideran iguales. Ocurre lo mismo con la medida del ancho de su tronco, puesto que es la más ancha de todas porque es de 5,16 cm, se considera igual a la de Parthenon.
- **BRO03184:** destaca por su altura de recolección, que es la más baja, de tan sólo de 13,50 cm. Sus DDT son de media mayores que los de Parthenon, pues son 134,5 días, y 2 recolecciones en 20 días. Sin embargo; su diámetro de tronco de 4.50 cm lo hacen significativamente distinto del de Parthenon.

Es necesario profundizar en cómo influyen estas características en la producción final. Son las 4 variedades que posee destacan en las mediciones de los parámetros descriptivos, pero al analizar la producción de cosechado y de troceado, el resultado varía,

Para una mejor comprensión se puede recuperar la Gráfica 3 del apartado 4.1.1. En orden de mayor a menor peso de pella sin tronco se encuentran en las tres primeras posiciones BRO03184, Triton y Parthenon. Sin embargo en este punto aún no se han aplicado factores de ponderación que permiten conocer si también ofrecerán las mejores producciones. Después, al estimar el número de plantas por hectárea, es decir, aplicando la tasa de faltas a una densidad de plantación de 37.200 plantas/ha y multiplicarlas por el peso de pella sin trono medio por planta, se descubren que la que más kilos por hectáreas producirá será BRO03184, seguida en orden de Parthenon, Triton y Templario. Finalmente, si se multiplican por su correspondiente rendimiento de troceado BRO03184 logra mantenerse con la mayor producción por hectárea, Triton adelanta a Parthenon, y Templario mantiene la cuarta posición.

De este modo se puede afirmar que, según los resultados obtenidos en este ensayo en concreto, y habiéndose visto las variedades afectadas por la condiciones descritas, tanto para la industria como para el productor resulta más rentable cultivar la variedad BRO03184. Seguida de ella entraría en conflicto Parthenon y Triton, pues con Parthenon el agricultor obtendría más kilos por hectárea, que es por lo que a él le pagan, mientras que la empresa preferiría Triton, porque es con la que menos material vegetal pierde.

En cuanto al cumplimiento de las exigencias de la industria, todas presentan la misma compacidad en términos estadísticos, mientras que la granulometría de BRO03184 y Triton resulta ser más fina que la de Parthenon. Además estas tres variedades destacan por tener un arco de cabeza prolongado y un altura de la pella elevada, es decir, tienen tendencia a crear frutos esférico en los que el ataque de enfermedades supone menos problema que en las pella planas, lo que unido a que resulta más atractivo al consumidor, les otorga gran valor para la indus

4.3. ANÁLISIS DEL CULTIVO DE BRÓCOLI EN ARAGÓN

3.5.1. Evolución de la superficie dedicada al brócoli en Aragón

Según el Anuario de Estadística Agrario de 2023, en Aragón se destinan 1.729.659 ha a tierras de cultivo, destacando la provincia de Zaragoza con 786.646 ha,

seguida de Huesca con 513.091 ha y Teruel con 429.922 ha. Esto significa que representan el 4,75%, 3,10% y 2,59% del total de la tierra arable de todo el país. En conjunto representan el 10.43%, lo que sitúa a Aragón en la cuarta posición en lo que a extensión arable respecta. Además Aragón también se sitúa por encima de la media de superficie de tierra de cultivo dedicada a herbáceos, que es de 54.16%. Aunque se encuentra en séptimo lugar, dedica el 60.24% de la tierra arable.

La superficie de terreno aragonés dedicada al cultivo del brócoli ha ido evolucionando a lo largo de los años. Se han recopilado las hectáreas totales (tanto de regadío como de secano, aunque estas representan una pequeñísima parte) y se han plasmado en la Figura 81. Llama la atención lo rápido que se popularizó este cultivo en 2017 y cómo se mantuvo en 2018, pues durante dos campañas seguidas ocupó más de 1.800 ha. En 2019 y 2020, aunque disminuyó la superficie, todavía eran más de 1.600 ha. Aunque en 2021 se intentó volver a esas casi 1.800 ha, en 2022 se produjo un descenso de la producción y no se cultivaron poco más de 1.200 ha.

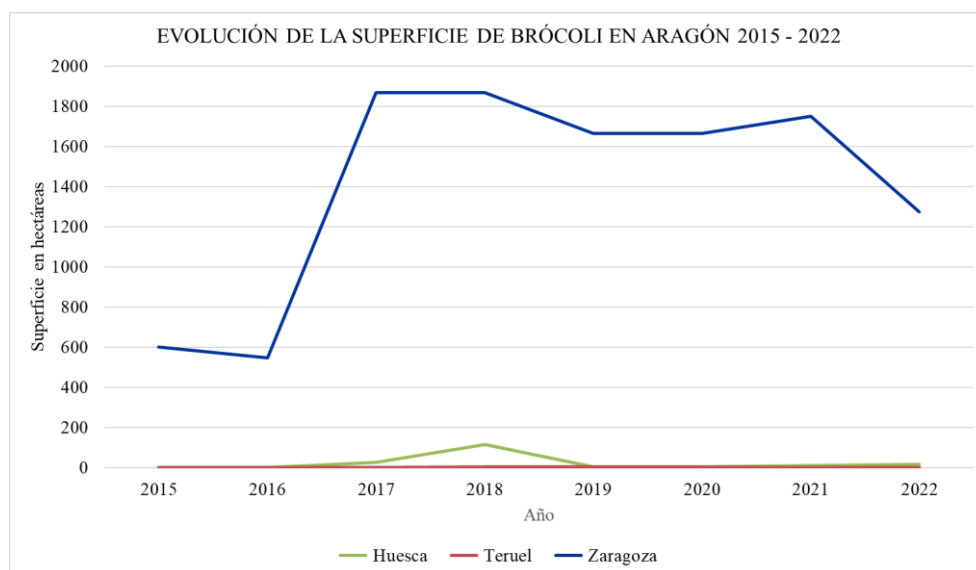


Figura 81. Evolución de la superficie de secano y de regadío cultivada en Aragón desde 2015 hasta 2022 (Datos: Anuario de Estadística Agrario).

Se ha mencionado anteriormente que la superficie de secano representa una parte muy pequeña de la superficie y es que, tomando como ejemplo los datos de 2022 que se han desglosado en la Tabla 32, se puede apreciar que apenas se cultivaron 19 ha en secano en Zaragoza y que su producción fue de 11.475 kg/ha. En cambio, en

regadío se pusieron 16 ha en Huesca y 1.275 ha en Zaragoza, obteniéndose en las respectivas provincias un rendimiento mucho más alto, en concreto de 15.000 kg/ha y de 18.500 kg/ha.

DATOS RELATIVOS AL BROCOLI EN 2022 PARA ARAGÓN					
Provincia	Superficie (hectáreas)		Rendimiento (kg/ha)		Producción (ton)
	Secano	Regadío - Aire libre	Secano	Regadío - Aire libre	
Huesca	–	16	–	15.000	240
Teruel	–	–	–	–	–
Zaragoza	19	1.275	11.475	18.500	23.805
ARAGÓN	19	1.291	11.475	18.457	24.045

Tabla 32. Datos relativos a la producción de brócoli en Aragón en 2022.

A pesar de la importancia que tiene a nivel regional, la comparación entre comunidades (Tabla 33) demuestra que a escala nacional todavía no es muy representativo.

DATOS RELATIVOS AL BROCOLI EN 2022 PARA ESPAÑA					
Comunidad Autónoma	Superficie (hectáreas)		Rendimiento (kg/ha)		Producción (ton)
	Secano	Regadío - Aire libre	Secano	Regadío - Aire libre	
GALICIA	2	–	20.600	–	41
P. DE ASTURIAS	1	–	15.000	–	15
R. DE MURCIA	–	13.030	–	15.530	202.356
NAVARRA	–	5.503	–	12.750	70.163
C. VALENCIANA	–	3.198	–	21.515	68.806
ANDALUCÍA	2	2.638	15.000	19.930	52.605
EXTREMADURA	–	3.270	–	12.960	42.379
CASTILLA-LA MANCHA	–	1.797	–	15.086	27.109
ARAGÓN	19	1.291	11.475	18.457	24.045
LA RIOJA	–	231	–	13.500	3.119
CATALUÑA	–	112	–	20.650	2.313
CANARIAS	–	62	–	19.935	1.248
CASTILLA Y LEÓN	–	66	–	14.545	960
PAÍS VASCO	–	27	–	10.000	270
BALEARES	–	4	–	18.000	72
MADRID	–	2	–	13.200	26
CANTABRIA	–	–	–	–	–
ESPAÑA	24	31.231	12.676	15.856	495.527

Tabla 33. Datos relativos al brócoli en 2022 en las comunidades autónomas de España.

3.5.2. Distribución geográfica

Se han recuperado las superficies declaradas de este cultivo en la PAC de 2023 y se han elaborado diversos mapas para ilustrar su distribución. Con las parcelas (en rojo) de la Figura 82 se visualiza, como ya se ha comentado, que la mayor producción se encuentra en la provincia de Zaragoza.



Figura 82. Parcelas declaradas de brócoli en Aragón en 2023 (Fuente: elaboración propia con datos de PAC).

Se puede poner el foco en algunas zonas de la provincia. Destaca las poblaciones de la comarca de Valdejalón (Figura 83), al suroeste de la región, en la que predominan las instalaciones de riego por pivót. Las parcelas más grandes tanto de esta zona como de todo Aragón pertenecen a Épila, Ricla, Almonacid de la Sierra y Alfamén. En Épila hay una parcela de 60 ha entera de brócoli, y son muy abundantes las grandes parcelas desde las 40 ha hasta las 20 ha.

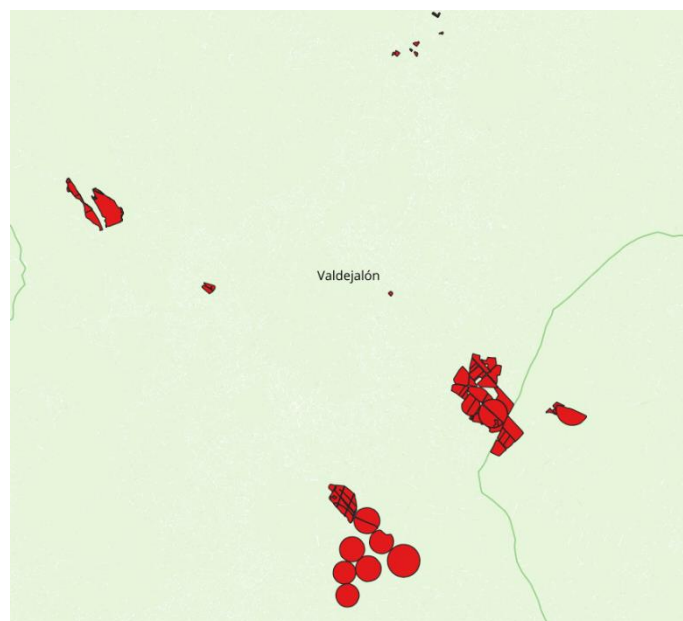


Figura 83. Brócoli cultivado en Valdejalón (Zaragoza) en 2023.

También es importante la Comarca de las Cinco Villas (Figura 81), al noroeste, en la que el municipio con las parcelas con más superficie es Biotá, pues hay dos de ellas de 24 ha, una de 16 ha y otra de 7 ha. Si bien es cierto que el resto no llegan a la hectárea. También destaca Ejea de los Caballeros, que reúne casi 200 ha. En general son grandes fincas con instalación de riego.

En la misma Figura 81, pero al sur del valle del Ebro, se aprecia también una importante producción en las pequeñas pero numerosas parcelas del Campo de Borja, en la que destacan Agón, Mallén, Novillas y sobretodo Fréscano con más de 60 ha.

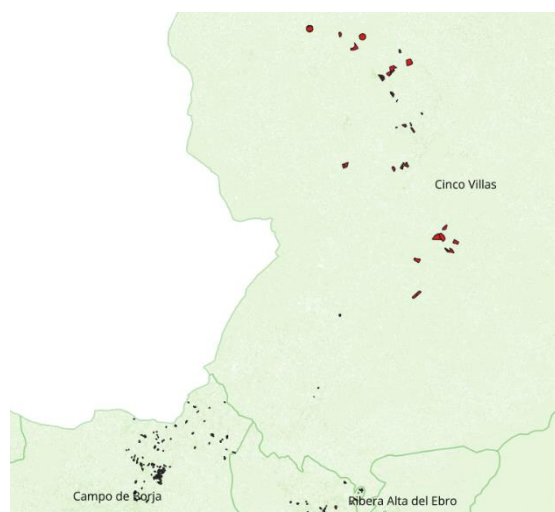


Figura 84. Brócoli cultivado en Cinco Villas y Campo de Borja (Zaragoza) en 2023 (Fuente: elaboración propia con datos de PAC)

Finalmente resalta la gran producción que se acumula en el valle del Ebro (Figura 85), tanto en la Ribera Alta como en la Comarca Central, pues conforme se desciende hacia la Ribera Baja mengua la extensión de brócoli. En la Ribera Alta del Ebro sólo el pueblo de Torres de Berrellén agrupa más de 70 ha, también son importantes La Joyosa,

Boquiñeni, Pinseque y Alagón. En la Comarca Central el propio municipio de Zaragoza, con más de 170 ha y Utebo con unas 40 ha. Toda esta región se caracteriza por tener, salvo en casos puntuales, parcelas de tamaño reducido y con riego a manta.

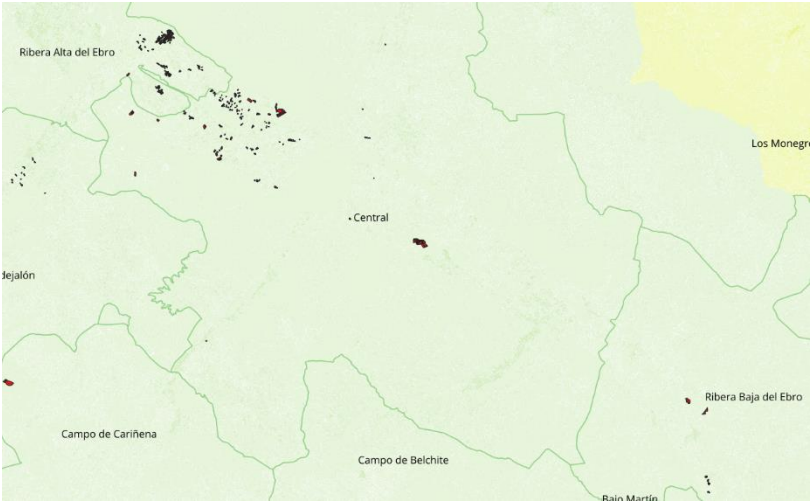


Figura 85. Brócoli cultivado en Valle del Ebro (Zaragoza) en 2023 (Fuente: elaboración propia con datos de PAC).

En la Tabla 34 se organizan los mencionados municipios, ordenados de mayor a menor las superficies que se cultivan de brócoli en 2023.

PROVINCIA DE ZARAGOZA	
MUNICIPIO	Superficie (ha)
La Almunia de Doña Godina	270,04
Almonacid de la Sierra	231,61
Ejea de los Caballeros	190,36
Zaragoza	172,22
Épila	134,58
Ricla	96
Alfamén	82,79
Torres de Berrellen	73,32
Biota	73,13
Fréscano	64,51
Utebo	40,3
El Burgo de Ebro	39,28
La Joyosa	27,86
Mallén	22,7
Gelsa	19,24
Boquiñeni	19,06
Novillas	18,9
Pinseque	17,95
Alagón	15,07
Velilla de Ebro	11,49
Agón	10,33

Tabla 34. Municipios de la provincia de Zaragoza con más de 10 ha de brócoli declaradas en PAC 2023.

Entre lo que se puede comentar de la provincia de Huesca (Figura 86) destaca al oeste un gran recinto del municipio de Alcalá de Gurrea de casi 100 ha, dotado de riego con pivot. En la Hoya de Huesca (en concreto Lupién-Ortilla), el Somontano de Barbastro y en el Cinca Medio encontrar una plantación de brócoli es algo más puntual. También son de gran tamaños algunas parcelas de Lalueza, y junto con los campos de Sangarrén, Torres de Alcanadre, y Grañen hacen que el brócoli en la Comarca de Los Monegros tome cierta relevancia, gracias a que se trata de zonas dotadas de modernos regadíos.

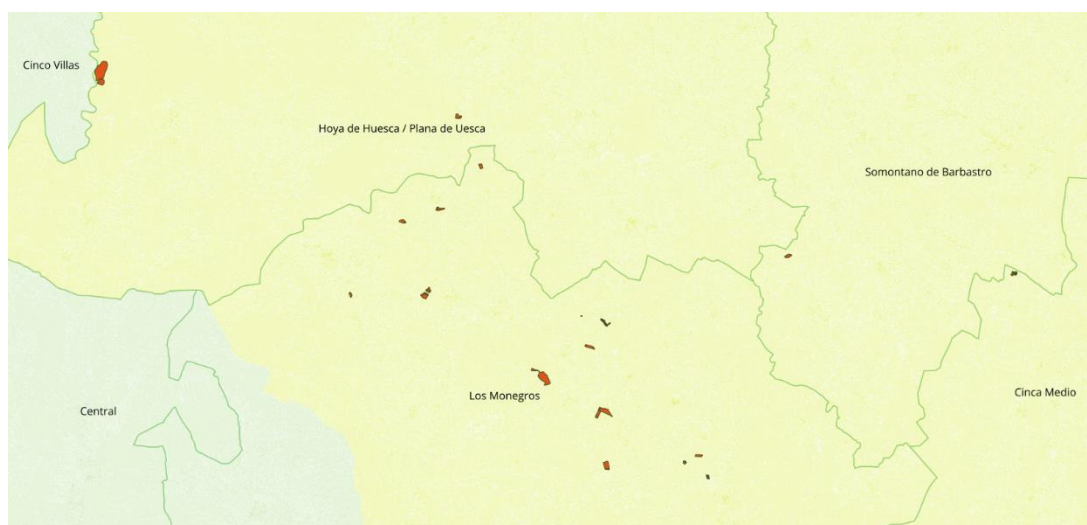


Figura 86. Brócoli cultivado en Huesca en 2023 (Fuente: elaboración propia con datos de PAC).

3.5.3. Importancia económica

Según el Anuario de Estadística de 2023 publicado por el MAPA, la Industria de la Alimentación en Aragón reúne el 3.40% y el 3,49% de las empresas y establecimientos de toda España, respectivamente. Esto conlleva que 2021, supusiera una inversión en activos materiales de 181.963 miles de euros y ocupó a 17.734 personas.

Los datos recogidos por el Instituto Aragonés de Estadística, en el cálculo de las Macromagnitudes Agrarias agrupa los precios pagados al agricultor por el brócoli y las coliflores, pero aun así sirve como orientación (Figura 87). Los precios se disparan en 2017, coincidiendo con el año en el que se aumentan exponencialmente las hectáreas dedicadas a su cultivo. Sin embargo, al siguiente año los precios no se mantienen

constantes, de hecho siguen cayendo hasta 2019. De nuevo no se observa el mismo comportamiento que con las superficies de 2019 y 2020, puesto que esta vez para 2020 suben los precios. De hecho en 2021 son aún mayores, y en 2022 se observa cierta estabilidad.

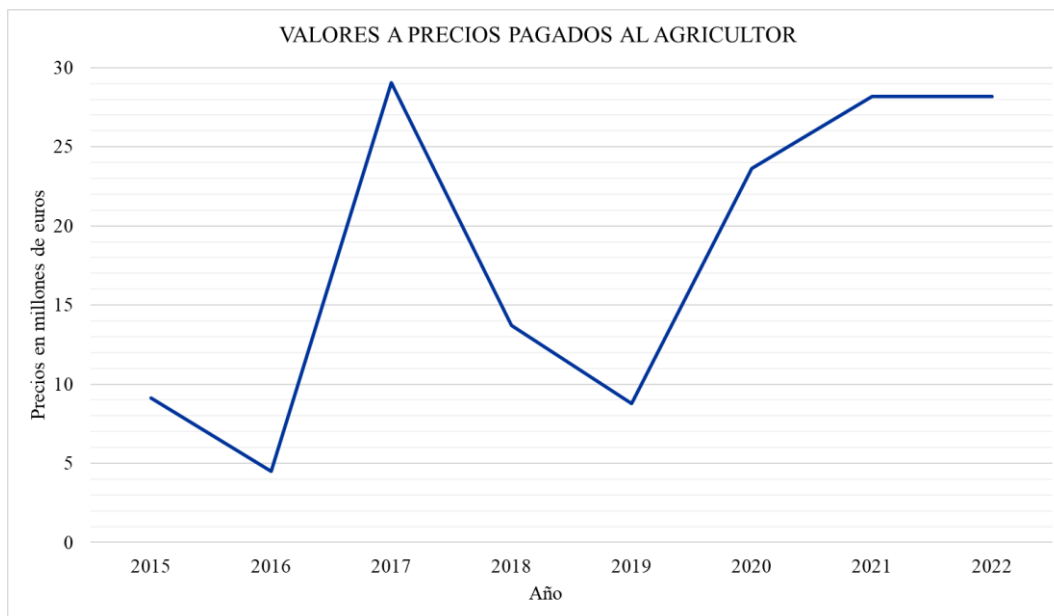


Figura 87. Evolución de precios pagados al agricultor en Aragón de 2015 hasta 2022 en millones de euros (Datos: Anuario de Estadística Agrario).

5. CONCLUSIONES

Las conclusiones obtenidas acerca de la valoración de la evaluación agronómica y aptitud comercial de las variedades de brócoli son:

1. El análisis de las mediciones de diversos parámetros descriptivos ha permitido saber que las variedades presentan para todos ellos diferencias significativas, excepto para la compacidad y el peso de la pella sin tronco.
2. La correlación de los factores sólo indica que el rendimiento de troceado sea favorecido de forma significativa por un largo período de DDT, una altura de recolección baja y un diámetro de tronco ancho.
3. Únicamente la valoración de las variedades a partir de los descriptores no permite saber cuáles son más rentables, porque también influye la tasa de supervivencia de las plantas.
4. La variedad que destaca en todos los aspectos y resulta ideal cultivar en las condiciones de este ensayo para obtener el máximo rendimiento de cosecha y de troceado es BRO03184, lo que la convierte en mejor variedad que la testigo Parthenon.

Las conclusiones acerca del análisis de la importancia del cultivo de brócoli en Aragón son:

1. El brócoli se popularizó en 2016 y desde entonces la superficie dedica a él ha ido sufriendo variaciones, y que de hecho no es todavía una región que destaca entre las productoras españolas.
2. A pesar de que se encuentran algunas explotaciones en la Provincia de Huesca, como en la Comarca de los Monegros, la que destaca es Zaragoza, especialmente las zonas próximas al Valle del Ebro, las Cinco Villas y Valdejalón.
3. Su cultivo es casi exclusivo de zonas de regadío, pero se da tanto el riego a manta o como la instalación de pívot.

6. BIBLIOGRAFÍA

Agencia Española de Meteorología (s.f.). AEMET OpenData. <https://opendata.aemet.es/centrodedescargas/productosAEMET>

Allen, R.G., et al (1998). *Crop evapotranspiration. Guide-lines for computing crop water requirements*. FAO Irrigation and Drainage, 56. Rome, Italy. <file:///C:/Users/andre/Downloads/Fao56.pdf>

Jacobsson, A.. (2004). *Influence of Temperature, Modified Atmosphere Packaging, and Heat Treatment on Aroma Compounds in Broccoli*. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 52, 1607-1614. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/jf030631n>

APPCC (s.f.). *Plan y sistema APPCC para hostelería e industria alimentaria*. <http://www.appcc.es/>

Baixauli, C., y Maroto Borrego, J. V. (2016). *Cultivos hortícolas al aire libre*, p. 381. Fundación Cajamar. <https://publicacionescajamar.es/wp-content/uploads/2023/03/cultivos-hortícolas-al-aire-libre-2.pdf>

Bayer¹ (s.f.). *Andersia*. <https://www.vegetables.bayer.com/es/es-es/landingpage/andersia.html>

Bayer² (s.f.). *Titanium*. <https://sakata.co.za/shop/vegetables/broccoli/parthenon-f1-hybrid-broccoli/>

Bayer³ (s.f.). *Managing Brown Bead And Hollow Stem In Broccoli*. <https://www.vegetables.bayer.com/au/en-au/resources/growing-tips/agronomic-spotlights/managing-brown-bead-hollow-stem-broccoli.html>

Blanca G. et al (2009). *Flora Vascular de Andalucía Oriental. Volumen 3: Rosaceae–Lentibulariaceae*. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía https://bibdigital.rjb.csic.es/medias/33/d2/c8/6e/33d2c86e-6d2f-437f-a81a-190e4a27576b/files/BLA_Fl_And_Or_3.pdf

Block, S. S. (ed.). (1991). *Disinfection, Sterilization, and Preservation* (5ª ed). Editorial Lippincott Williams & Wilkins.

FAOSTAT (s.f.). *Food and Agriculture Data*. FAO. Consultado el 19 de noviembre de 2024 en <https://www.fao.org/faostat/en/#home>

Fellows, P. (2007). *Tecnología del procesado de los alimentos: principios y prácticas* (J. Ceamanos Lavilla (Ed.); 2ª ed.). Editorial Acribia.

Fernández León, A. M., (2015). *Estudio de la biodisponibilidad y bioactividad de los compuestos funcionales presentes en brócoli y col de Milán* [tesis doctoral, Universidad de Granada]. Repositorio UNEX. https://dehesa.unex.es:8443/bitstream/10662/4128/1/TDUEX_2015_Fernandez_Leon.pdf

Ferrari Growtech (s.f.). *Trasplantadoras*. Consultado el 20 de noviembre. <https://ferrarigrowtech.com/es/trasplantadoras-a-bandejas/8-trasplantadora-automatica-futura.html>

Flora Ibérica (versión 2008). *Plantas vasculares de la Península Ibérica e Islas Baleares: Cruciferae – Monotropaceae* (vol. IV). Editores: S. Castroviejo et al. - Real Jardín Botánico de Madrid (CSIC). https://bibdigital.rjb.csic.es/medias/7c/9d/0c/f3/7c9d0cf3-1291-4624-be11-907cddc04f6a/files/FI_iber4.pdf

Han, F., et al (2021). *Advances in genetics and molecular breeding of broccoli*. Horticulturae, 7, 280. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7090280>

IBPGR (1990). *Descriptors for Brassica and Raphanus*. International Board for Plant Genetic Resources, 58 p. <https://cgspace.cgiar.org/server/api/core/bitstreams/c2d2fb61-55f7-47d1-816a-7338fc89788d/content>

Irañeta, J., et al (julio – agosto 2011). *Fertilización razonada de los principales cultivos de regadío en zonas vulnerables de Navarra (V parte)*. Cereal de invierno y brócoli, 13-14.

Liu, L. M. et al (2021). *Resolving robust phylogenetic relationships of core Brassicaceae using genome skimming data*. Journal of Systematics and Evolution, 59, 442-453. https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/jse.12666?saml_referrer

M. Carmen Vidal Carou (2008). *Alimentos funcionales: algunas reflexiones en torno a su necesidad, seguridad y eficacia y a cómo declarar sus efectos sobre la salud*. HUMANITAS. Humanidades médicas, 24, 14-15. https://fundacionletamendi.com/revista_humanitas_pdf/TM24.pdf

Macua González, J. I., y Lahoz García, I. (mayo – junio 2015). *Fertilización nitrogenada en los cultivos de coliflor y brócoli en los regadíos navarros*. Navarra Agraria (210), 16-20.

MAPA¹ (2023). *Análisis campaña 2022/23. Sectorial de Hortalizas y Frutos Rojos*. https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/temas/producciones-agricolas/analisiscampanahortalizas2022-23-20deabrilde2023_tcm30-652059.pdf

MAPA² (2023). *Anuario de estadística 2023*. https://www.mapa.gob.es/estadistica/pags/anuario/2023/global%202023/ANUARIO_2023.pdf

MAPA³ (2016). *Guía de Gestión Integrada de Plagas en Brassicas*. https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/temas/sanidadvegetal/guiagipbrassicasweb_tcm30-57972.pdf

Moresil (s. .f). *Cosechadora de broccoli automática*. Consultado el 17 de octubre de 2024. https://www.moresil.com/maquinaria-agricola/cabezales/cosechadora-broccoli/?_gl=1*o0nhbb*_up*MQ..*_ga*MjkwNzUzMzlyLjE3MjkxOTM5Mjg.*_ga_FZ5B56LK3J*MTcyOTE5MzkyNC4xLjEuMTcyOTE5Mzk0Ni4wLjAuMA..

Lahoz García, I. et al. (mayo – junio, 2020). *Resultados de la experimentación en la campaña 2019 – 2020*. Navarra Agraria, (240), 23-30.

Jasmina Ahmetpahic (2024). *AIT y Moresil lanzan una revolucionaria máquina que automatiza la cosecha del brocoli*. Navarra Capital. <https://navarracapital.es/ait-y-moresil-lanzan-una-revolucionaria-maquina-que-automatiza-la-cosecha-del-brocoli/>

New England Vegetable Management Guide (s.f.). Cabbage, Broccoli, Cauliflower, and Other Brassica Crops. Consultado el 20 de noviembre de 2021. <https://nevegetable.org/crops/cabbage-broccoli-cauliflower-and-other-brassica-crops>

Nielsen, M. S. (2012). *Novel x-ray imaging modalities – seeing through food*. Master's thesis, University of Copenhagen, Niels Bohr Institute. https://nbi.ku.dk/english/theses/phd-theses/mikkel-schou-nielsen/Mikkel_Schou_Nielsen.pdf

Pavone, P. (2021). *Brassicaceae*. Monaco Nature Encyclopedia (Plants 2003 ed). <https://www.monaconatureencyclopedia.com/brassicaceae/?lang=en>

Podsdek, A. et al. (2006). *Antioxidant capacity and content of Brassica oleracea dietary antioxidants*. International Journal of Food Science and Technology, 41(1), 49-58.

UMass Extension Vegetable Program (2016). *Brassicas: Hollow Stem*. Center for Agriculture, Food, and the Environment. University of Massachusetts. Consultado el 20 de noviembre de 2024. <https://ag.umass.edu/vegetable/fact-sheets/brassicas-hollow-stem>

Ramos, C., & Pomares, F. (2010). *Abonado de los cultivos hortícolas*. En: Guía práctica de la fertilización racional de los cultivos en España (pp. 181-192). Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. https://redivia.gva.es/bitstream/handle/20.500.11939/7070/2010_Ramos_Abonado.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Rodríguez Eguílaz, J. J. (marzo – abril 2008). *Guía de cultivo de: Brócoli*. Navarra Agraria, 39-40.

Tirilly, Y., & Bourgeois, C. M. (Eds.). (2002). *Tecnología de las hortalizas*. Editorial Acirbia.

Vallejo, F., et al (2002). *Potential bioactive compounds in health promotion from broccoli cultivars grown in Spain*. Journal of the Science and Food and Agriculture, 82, 1293-1297.

Scientific Concepts of Functional Foods in Europe Consensus Document. (1999). British Journal of Nutrition, 81(4), S26. <https://www.cambridge.org/core/journals/british-journal-of-nutrition/article/scientific-concepts-of-functional-foods-in-europe-consensus-document/B4C837254CBFCE95E11BA1BBF89FF047>

Pascual Antón, J.A. (1994). *Brócoli. Su cultivo y perspectivas*. Horticultura, 97, 21-25

Rijk Zwaan (s.f.). *Larsson RZ*. <https://www.rijkszwaan.es/variedades-hort%C3%ADcolas/br%C3%B3coli/larsson-rz-prdBO10134-ctgCrops.broccoli>

Tozer Iberica (s.f.). *Catálogo*. <https://www.tozerseeds.com/wp-content/uploads/2022/01/Tozer-Iberica-Catalogue-2021.pdf>

Sakata¹ (s.f.). *Triton F1 Hybrid Broccoli*. <https://sakata.co.za/shop/vegetables/broccoli/triton-hybrid-broccoli/>

Sakata² (s.f.). *Parthenon F1 Hybrid Broccoli*. <https://sakata.co.za/shop/vegetables/broccoli/parthenon-f1-hybrid-broccoli/>

Feller, C., et al. (1995). *Phänologische Entwicklungsstadien von Gemüsepflanzen I. Zwiebel-, Wurzel-, Knollen- und Blattgemüse: Codierung und Beschreibung nach der erweiterten BBCH-Skala mit Abbildungen*. Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd. 47: 193–206.

Salunkhe, D. K. & Kadam, S. S. (eds.) (2003). *Tratado de ciencia y tecnología de las hortalizas*, 353 – 361. Editorial Acribia.

Tian, M.S., et al. (1994). *A Role for Ethylene in the Yellowing of Broccoli after Harvest*. Journal of the American Society for Horticultural Science, 119(2), 276-281. <https://doi.org/10.21273/JASHS.119.2.276>

Tan, D.K.Y., et al (2000). *Predicting broccoli development I. Development is predominantly determined by temperature rather than photoperiod*. School of Land and Food, The University of Queensland, 84(3-4), 227-243.
<https://core.ac.uk/download/pdf/14982585.pdf>