



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Instituto Universitario de Conservación y Mejora de la
Agrodiversidad Valenciana

Evaluación de una colección de variedades tradicionales
de pimiento (*Capsicum annuum*) en cultivo ecológico bajo
diferentes condiciones

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Mejora Genética Vegetal

AUTOR/A: Juan Méndez, Roberto

Tutor/a: Rodríguez Burruezo, Adrián

Director/a Experimental: Jiménez Pérez, Marisa

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Instituto de Conservación y Mejora
de la Agrobiodiversidad Valenciana



TRABAJO FINAL DE MÁSTER

Evaluación de una colección de variedades tradicionales de pimiento (*Capsicum annuum*) en cultivo ecológico bajo diferentes condiciones

MÁSTER UNIVERSITARIO EN MEJORA GENÉTICA VEGETAL



Autor:

Roberto De Medinacelli Juan Méndez

Director Académico:

Adrián Rodríguez Burruezo

Director Experimental:

Marisa Jiménez Pérez

RESUMEN

Este Trabajo Final de Máster aborda la caracterización de 15 accesiones tradicionales de pimiento (*Capsicum annuum*) y una colección de material heterogéneo bajo condiciones de cultivo ecológico en dos localidades de Valencia: L'Horta Nord (Picassent, con estrés hídrico adicional) y L'Horta Sur (Meliana). El objetivo principal fue evaluar el rendimiento, la calidad organoléptica y el contenido nutricional de estas variedades y del material heterogéneo en condiciones agroecológicas. Para ello, se llevaron a cabo análisis bioquímicos y fenotípicos que permitieron estudiar la influencia del ambiente, el genotipo y su interacción en parámetros como el rendimiento por planta T/Ha, peso medio de fruto (g), el contenido de ácido ascórbico (vitamina C) (mg/Kg (pf)), carotenoides ($\mu\text{g/g}$), contenido en agua, en el caso de las variedades tradicionales y sólidos solubles totales ($^{\circ}\text{Brix}$), Rendimiento total (g) y peso medio de fruto (g), en el caso del material heterogéneo.

Los resultados demostraron que tanto el ambiente como la variedad afectan significativamente el rendimiento y la calidad del pimiento. En general, las variedades cultivadas en Meliana mostraron un mayor rendimiento y peso medio de fruto que las de Picassent, lo que sugiere condiciones de cultivo más favorables en Meliana. Además, se encontraron diferencias significativas en el Rendimiento, Peso Medio de Fruto, contenido de carotenoides (rojos como amarillo-naranjas y totales) entre las variedades y localidades, destacándose un mayor contenido de carotenoides en Picassent. Para el contenido en vitamina C solo se encontraron diferencias significativas entre variedades. En cuanto al material heterogéneo, se observó una amplia variabilidad en caracteres agronómicos, lo que resalta su potencial para seleccionar individuos óptimos en futuras generaciones. El material heterogéneo mostró un rendimiento prometedor, con variaciones significativas en el peso de los frutos y en el contenido de sólidos solubles totales (SST), lo que sugiere su capacidad de adaptación a condiciones ambientales adversas.

Este estudio subraya la importancia de seleccionar variedades tradicionales y material heterogéneo adaptados a condiciones específicas de cultivo ecológico, proporcionando una base sólida para el mejoramiento genético y la implementación de prácticas agrícolas sostenibles. Los hallazgos destacan la relevancia de la interacción genotipo-ambiente, la diversidad genética en la optimización del rendimiento y la calidad de cultivos en escenarios de cambio climático y limitación de recursos

ABSTRACT

This master's thesis deals with the characterization of 15 traditional bell pepper (*Capsicum annuum*) accessions and a collection of heterogeneous material under organic farming conditions in two localities of Valencia: L'Horta Nord (Picassent, with additional hydric stress) and L'Horta Sur (Meliana). The main objective was to evaluate the yield, organoleptic quality and nutritional content of these varieties and of the heterogeneous material under agroecological conditions. For this purpose, biochemical and phenotypic analyses were carried out to study the influence of the environment, genotype and their interaction on parameters such as yield per plant (T/Ha), average fruit weight (g), ascorbic acid (vitamin C) (mg/Kg (pf)), content carotenoids ($\mu\text{g/g}$), water content, in the case of traditional varieties, and total soluble solids ($^{\circ}\text{Brix}$), total yield (g) and average fruit weight, in the case of heterogeneous material.

The results showed that both environment and variety significantly affect bell pepper yield and quality. In general, varieties grown in Meliana showed higher yield and mean fruit weight than those grown in Picassent, suggesting more favorable growing conditions in Meliana. In addition, significant differences were found in yield, average fruit weight, carotenoid content (red, yellow-orange and total) between varieties and locations, with a higher carotenoid content in Picassent. For vitamin C content, only significant differences were found between varieties. As for the heterogeneous material, a wide variability in agronomic traits was observed, which highlights its potential for selecting optimal individuals in future generations. The heterogeneous material showed promising yield, with significant variations in fruit weight and total soluble solids (TSS) content, suggesting its ability to adapt to adverse environmental conditions.

This study underlines the importance of selecting traditional varieties and heterogeneous material adapted to specific organic growing conditions, providing a solid basis for genetic improvement and the implementation of sustainable agricultural practices. The findings highlight the relevance of genotype-environment interaction and genetic diversity in optimizing crop yield and quality in scenarios of climate change and resource limitation.

Agradecimientos:

Gracias a mis padres, por todo el esfuerzo que han hecho por mí.

Gracias a todos los profesores del máster, por todo lo que me han enseñado durante estos dos años.

Gracias a mis compañeros, por todas las horas de estudio, trabajos y alegrías, en especial, a Gerard, Juan Ramón, Pablo Emilio y David.

Gracias al COMAV y a todo su personal por poder brindarme una estancia agradable.

A todo el equipo de mejora de *Capsicum* del COMAV por la ayuda brindada en todo momento, en especial, Marisa, Ana, Estela y Adrián.

Muchas gracias por todo.

ÍNDICE GENERAL

1.	Introducción.....	1
1.1	Importancia económica	1
1.2	Descripción taxonómica, citológica y botánica.	4
1.3	Origen, domesticación y distribución.....	6
1.4	Manejo de cultivo y prácticas culturales del pimiento.....	7
1.4.1	<i>Condiciones edafoclimáticas</i>	7
	<i>Humedad relativa</i>	7
	<i>Temperatura</i>	7
	<i>Tipo de suelo</i>	7
1.4.2	<i>Prácticas preparatorias para el cultivo</i>	8
1.4.3	<i>Prácticas culturales en el cultivo de pimiento</i>	8
1.4.4	<i>Necesidades nutricionales del cultivo de pimiento</i>	9
1.4.5	<i>Cosecha y post cosecha del fruto</i>	10
1.5	Características nutricionales y parámetros de interés en la mejora genética de pimiento.....	10
	Vitamina C	10
	Carotenoides.....	11
	Azúcares.....	12
1.6	Cultivo Ecológico	13
1.6.1	Reglamentación del cultivo ecológico (UE).....	14
1.7	Contexto de la producción ecológica y el cambio climático. Variedades tradicionales y material heterogéneo	14
1.7.1	Importancia de las variedades tradicionales de pimiento y sus aplicaciones en la mejora genética	15
	Diversidad Genética	16
	Adaptabilidad Local.....	16
	Calidad Organoléptica y Nutricional	16
1.7.2	Objetivos de Mejora Genética con Variedades Tradicionales.....	17
	Resistencia a Enfermedades y Plagas	17
	Mejora de la Calidad Nutricional.....	17
	Adaptación a Condiciones Climáticas Extremas	17
1.7.3	Material Heterogéneo.....	18
2.	Objetivos	19
3.	Materiales y Métodos.....	20

3.1 Material Vegetal	20
3.1.1 Variedades Tradicionales	20
3.1.2 Material Heterogéneo	22
3.2 Condiciones de cultivo	23
Meliana	23
Picassent	24
3.3 Diseño Experimental	25
Variedades Tradicionales	25
Material Heterogéneo	25
3.4 Procesado de las muestras	26
3.5 Análisis de los compuestos bioactivos	26
3.5.1 Ácido Ascórbico (Vitamina C)	26
3.5.2 Análisis del contenido en carotenoides	28
3.5.3 Contenido en Agua	29
3.5.4 Sólidos solubles totales (SST)	29
3.5.5 Análisis Estadístico	30
4. Resultados y Discusión	31
4.1 Análisis de la Varianza para la calidad de fruto y rendimiento de las variedades tradicionales	31
4.2 Análisis Descriptivo de Variedades Tradicionales	34
4.2.1 Rendimiento por planta y Peso Medio de Fruto	34
Meliana	35
Picassent	36
4.2.2 Ácido ascórbico mg/Kg (pf)	38
4.2.3 Análisis del contenido en Carotenoides ($\mu\text{g/g}$)	41
4.2.4 Contenido de Agua	45
4.3 Material Heterogéneo	47
4.3.1 Rendimiento	49
4.3.2 peso medio de fruto (g)	50
4.3.3 Sólidos solubles Totales (SST)	52
4.3.4 Correlaciones entre parámetros evaluados en el material heterogéneo	53
5. Conclusiones	57
6. Bibliografía	59
ANEXO I. RELACIÓN DEL TRABAJO CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE DE LA AGENDA 2030	71

ÍNDICE DE FIGURAS:

FIGURA 1. DIFERENTES FORMAS DE COMERCIALIZACIÓN DEL PIMIENTO. A) PIMIENTO PARA CONSUMO EN FRESCO. B) PIMENTÓN. C) PIMIENTO EN CONSERVA. FUENTE: ADAPTACIÓN Y ELABORACIÓN PROPIA. IMÁGENES EXTRAÍDAS DE: TOPSEEDSINTERNATIONAL.COM, GLOBALCARNICA.COM Y XN-LOAMAOS-8ZA.COM.	2
FIGURA 2. HECTÁREAS Y PRODUCCIÓN DEL CULTIVO DE PIMIENTO EN FRESCO Y EN SECO. FUENTE: FAO (2022).	2
FIGURA 3. DATOS DE PAÍSES PRODUCTORES DE AJÍES Y PIMIENTOS. FUENTE: (FAO, 2022)	3
FIGURA 4. PRINCIPALES PAÍSES PRODUCTORES DE PIMIENTOS O AJÍES EN BRUTO PARA SECADO. FUENTE: (FAO,2022).....	3
FIGURA 5. PRODUCCIÓN A NIVEL CONTINENTAL DE PIMIENTO EN FRESCO Y EN SECO. FUENTE: FAO (2022).	4
FIGURA 6. NIVELES DE PLOIDÍA EN EL GÉNERO CAPSICUM. FUENTE:(JHA & BHOWMICK, 2021)	5
FIGURA 7. HIPÓTESIS DEL CENTRO DE ORIGEN Y DIVERSIFICACIÓN DE LAS ESPECIES DEL GÉNERO CAPSICUM. FUENTE: (CARRIZO-GARCÍA, 2016)	6
FIGURA 8. ESTRUCTURA QUÍMICA DE LOS ISÓMEROS DE ÁCIDO ASCÓRBICO. FUENTE; (SERRA Y CAFARO, 2007) AÑADIR BIBLIO	10
FIGURA 9. VARIEDADES TRADICIONALES DE PIMIENTO EVALUADAS EN ESTE ESTUDIO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. FOTOS PROCEDENTES DEL GRUPO DE INVESTIGACIÓN DE ADRIÁN RODRÍGUEZ-BURRUEJO (COMAV)	21
FIGURA 10. ESQUEMA DE LA PROCEDENCIA DEL MATERIAL HETEROGÉNEO EVALUADO EN ESTE ESTUDIO, FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. FOTOS PROCEDENTES DEL GRUPO DE MEJORA DE CAPSICUM DEL COMAV	22
FIGURA 11. MATERIAL HETEROGÉNEO EVALUADO, PROCEDENTE DE LA SEMILLA DOBLE HÍBRIDA. FUENTE: GRUPO DE MEJORA DE CAPSICUM DEL COMAV.....	23
FIGURA 12. FOTO DE CAMPO (MELIANA), DONDE SE LLEVÓ A CABO EL PRESENTE ESTUDIO. FUENTE: GRUPO DE MEJORA DE CAPSICUM DEL COMAV.	24
FIGURA 13. FOTO DE CAMPO (PICASSENT), DONDE SE LLEVÓ A CABO EL PRESENTE ESTUDIO. FUENTE: GRUPO DE MEJORA DE CAPSICUM DEL COMAV.	25
FIGURA 14. INSTRUMENTO HPLC CON EL QUE SE EVALUARON LAS MUESTRAS DE ESTE ESTUDIO Y CROMATOGRAMA DE MUESTRA DE LA VARIEDAD NUMEX BIG JIM. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. FOTOS PROCEDENTES GRUPO DE MEJORA DE CAPSICUM DEL COMAV.	27
FIGURA 15. ESPECTROFOTÓMETRO CON EL QUE SE ANALIZARON EL CONTENIDO DE CAROTENOIDEOS EN LAS VARIEDADES TRADICIONALES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, PROCESADA CON IA.	28
FIGURA 16. MACHACADOR DE AJOS Y REFRACTÓMETRO DE MANO, SE UTILIZARON PARA EL ANÁLISIS DE LOS SÓLIDOS SOLUBLES TOTALES (SST). FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	29

ÍNDICE DE TABLAS:

TABLA 1. VARIEDADES TRADICIONALES EVALUADAS EN ESTE ESTUDIO. FUENTE; ELABORACIÓN PROPIA.	20
TABLA 2. RESULTADOS DEL ANÁLISIS MULTIFACTORIAL (ANOVA) PARA LA EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS Y DE CALIDAD DE LAS VARIEDADES TRADICIONALES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	31
TABLA 3. COMPARATIVA DE LAS VARIEDADES EN MELIANA Y PICASSENT CON UN ONE-WAY ANOVA. RESULTADOS DEL ANOVA MULTIFACTORIAL PARA EL RENDIMIENTO T/HA Y PESO MEDIO DE FRUTO (G) ENTRE LAS VARIEDADES DE MELIANA Y PICASSENT. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	35
TABLA 4. COMPARATIVA DE LAS VARIEDADES EN MELIANA Y PICASSENT CON UN ONE-WAY ANOVA. RESULTADOS DEL ANOVA MULTIFACTORIAL PARA EL CONTENIDO EN ÁCIDO ASCÓRBICO MG/KG (PF) ENTRE LAS VARIEDADES DE MELIANA Y PICASSENT. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	38
TABLA 5. RESULTADOS PARA EL CONTENIDO EN CAROTENOIDES ROJOS, AMARILLO-NARANJA Y TOTALES DE LAS VARIEDADES TRADICIONALES DE PIMIENTO. TAMBIÉN, SE ENCUENTRAN LAS DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ENTRE AMBIENTES (LOCALIDAD), ANALIZADAS EN EL ANOVA MULTIFACTORIAL, PARA EL FACTOR LOCALIDAD. FUENTE. ELABORACIÓN PROPIA.	41
TABLA 6. COMPARATIVA DE LAS VARIEDADES EN MELIANA Y PICASSENT CON UN ONE-WAY ANOVA. RESULTADOS DEL ANOVA MULTIFACTORIAL PARA EL CONTENIDO EN AGUA ENTRE LAS VARIEDADES DE MELIANA Y PICASSENT. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	45
TABLA 7. INCLUYE LA MEDIA GENERAL (P1-P219), LA MEDIA DE LAS MEJORES 30 PLANTAS Y, TANTO EL VALOR MÁXIMO COMO EL MÍNIMO DE LOS PARÁMETROS EVALUADOS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	48
TABLA 8. LAS 30 PLANTAS QUE MEJORES RESULTADOS MOSTRARON PARA LOS PARÁMETROS QUE SE DESCRIBEN ANTERIORMENTE. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	48
TABLA 9. CORRELACIONES ENTRE LOS PARÁMETROS EVALUADOS EN EL MATERIAL HETEROGÉNEO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	53

ÍNDICE DE GRÁFICAS:

GRÁFICA 1. ADAPTACIÓN Y REPRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL ANÁLISIS MULTIFACTORIAL (ANOVA) PARA EL RENDIMIENTO POR PLANTA (T/HA) EN VARIEDADES TRADICIONALES, COMPARANDO SU COMPORTAMIENTO EN LAS DOS CONDICIONES DE CULTIVO. FUENTE: ADAPTACIÓN PROPIA DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL (ANOVA) MEDIANTE EL PROGRAMA STATGRAPHIC19.	36
GRÁFICA 2. ADAPTACIÓN Y REPRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL ANÁLISIS MULTIFACTORIAL (ANOVA) PARA EL PESO MEDIO DE FRUTO (G) EN VARIEDADES TRADICIONALES, COMPARANDO SU COMPORTAMIENTO EN LAS DOS CONDICIONES DE CULTIVO. FUENTE: ADAPTACIÓN PROPIA DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL (ANOVA) MEDIANTE EL PROGRAMA STATGRAPHIC19.	37
GRÁFICA 3. ADAPTACIÓN Y REPRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS MEDIANTE EL ANÁLISIS MULTIFACTORIAL (ANOVA) PARA EL CONTENIDO EN ÁCIDO ASCÓRBICO MG/KG PF, COMPARANDO SU COMPORTAMIENTO EN LAS DOS CONDICIONES DE CULTIVO. FUENTE: ADAPTACIÓN PROPIA DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL (ANOVA) MEDIANTE EL PROGRAMA STATGRAPHIC19.	39
GRÁFICA 4. ADAPTACIÓN Y REPRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS MEDIANTE EL ANÁLISIS MULTIFACTORIAL (ANOVA) PARA EL CONTENIDO EN CAROTENOIDES AMARILLO-NARANJAS $\mu\text{G/G}$, COMPARANDO SU COMPORTAMIENTO EN LAS DOS CONDICIONES DE CULTIVO. FUENTE: ADAPTACIÓN PROPIA DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL (ANOVA) MEDIANTE EL PROGRAMA STATGRAPHIC19.	42
GRÁFICA 5. ADAPTACIÓN Y REPRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS MEDIANTE EL ANÁLISIS MULTIFACTORIAL (ANOVA) PARA EL CONTENIDO EN CAROTENOIDES ROJOS $\mu\text{G/G}$, COMPARANDO SU COMPORTAMIENTO EN LAS DOS CONDICIONES DE CULTIVO. FUENTE: ADAPTACIÓN PROPIA DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL (ANOVA) MEDIANTE EL PROGRAMA STATGRAPHIC19.	43
GRÁFICA 6. ADAPTACIÓN Y REPRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS MEDIANTE EL ANÁLISIS MULTIFACTORIAL (ANOVA) PARA EL CONTENIDO EN CAROTENOIDES TOTALES $\mu\text{G/G}$, COMPARANDO SU COMPORTAMIENTO EN LAS DOS CONDICIONES DE CULTIVO. FUENTE: ADAPTACIÓN PROPIA DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL (ANOVA) MEDIANTE EL PROGRAMA STATGRAPHIC19.	44
GRÁFICA 7. RESULTADOS DEL ANÁLISIS MULTIFACTORIAL DE LA VARIANZA (ANOVA). COMPARA EL CONTENIDO DE CONTENIDO EN AGUA ENTRE LA LOCALIDAD DE MELIANA Y LA LOCALIDAD DE PICASSENT). FUENTE: ADAPTACIÓN DE STATGRAPHIC.	47
GRÁFICA 8. RESULTADOS DEL RENDIMIENTO TOTAL (G) DE LA COLECCIÓN DE MATERIAL HETEROGÉNEO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	49
GRÁFICA 9. RESULTADOS DEL PESO MEDIO POR FRUTO (G) DE LA COLECCIÓN DE MATERIAL HETEROGÉNEO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	51
GRÁFICA 10. RESULTADOS PARA EL CONTENIDO DE SÓLIDOS SOLUBLES TOTALES (SST) ($^{\circ}\text{Brix}$) DE LA COLECCIÓN DE MATERIAL HETEROGÉNEO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	52
GRÁFICA 11. CORRELACIÓN ENTRE EL PESO MEDIOS DE FRUTO (G) Y EL RENDIMIENTO (G). FUENTE. ELABORACIÓN PROPIA.....	54
GRÁFICA 12. CORRELACIÓN ENTRE EL PESO MEDIO DE FRUTO (PMT) Y LOS SÓLIDOS SOLUBLES TOTALES (SS). FUENTE. ELABORACIÓN PROPIA.	55
GRÁFICA 13. CORRELACIÓN ENTRE EL RENDIMIENTO (G) Y LOS SÓLIDOS SOLUBLES TOTALES (SS). FUENTE. ELABORACIÓN PROPIA.....	56

1. Introducción

El pimiento (*Capsicum annuum L.*), también conocido como chile o ají (Pereira-Dias et al., 2019) es uno de los vegetales con más importancia en el mundo debido a su gran ductilidad en el ámbito culinario (Guzmán & Bosland, 2017). Existe una gran diversidad, en cuanto a características; la apariencia del fruto, el color, el sabor y la presencia de capsaicina en diferentes especies y variedades (Guzmán & Bosland, 2017; Wang et al., 2023). Por estas razones, el cultivo de pimiento tiene un gran interés económico mundial.

Una de las razones de la domesticación temprana de este fruto es la utilización de esta planta por parte de los pueblos indígenas debido a sus propiedades medicinales (Cichewicz & Thorpe, 1996). Esto, es debido a la capsaicina, ya que pertenece a un grupo de moléculas llamadas capsaicinoides (Zhang et al., 2024), alcaloides pungentes que han sido ampliamente estudiados por sus efectos biológicos y farmacológicos de relevancia, como puede ser efecto analgésico, antiinflamatorio, influencia cardioprotectora (Srinivasan, 2016), incluso, antitumoral (Zhang et al., 2024). Además, se ha descrito que la capsaicina tiene propiedades antimicrobianas (A Omolo, 2014). Adicionalmente, el contenido de antioxidantes y vitaminas de interés nutricional como: Vitamina C y E o la provitamina A, pueden encontrarse en diferentes concentraciones según el genotipo (Olatunji & Afolayan, 2020).

1.1 Importancia económica

El éxito del cultivo de pimiento radica en las 3 principales formas en las que se comercializa y se consume: el destinado para consumo fresco, industria pimentonera y para conserva (Roig et al., 2009) (Figura 1). Existen numerosas especies de pimiento, pero es *Capsicum annuum L.* la especie con más repercusión y más importancia económica en todo el planeta, siendo cultivada en la mayoría de las áreas y regiones con clima tropical y subtropical (Bosland & Votava, 2012).

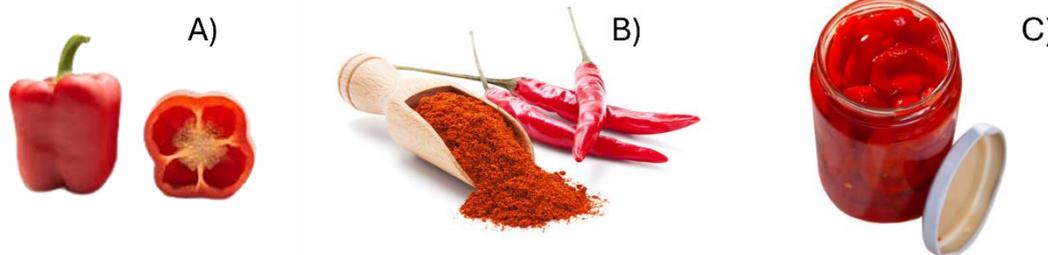


Figura 1. Diferentes formas de comercialización del pimiento. A) Pimiento para consumo en fresco. B) Pimentón. C) Pimiento en conserva. Fuente: Adaptación y Elaboración propia. Imágenes extraídas de: TopseedsInternational.com, Globalcarnica.com y xn-loamaos-8za.com.

En el mundo hay un total de 2 millones de hectáreas destinadas a la producción de pimiento fresco, la producción correspondiente al área cultivada es de un total de 37 millones de toneladas (Figura 2). Respecto a la relación de área cultivada con la producción bruta de pimiento en seco, los números son claramente inferiores, descendiendo a 1,64 millones de hectáreas con una producción total de 4,90 millones de toneladas (Figura 2) (FAO, 2022).

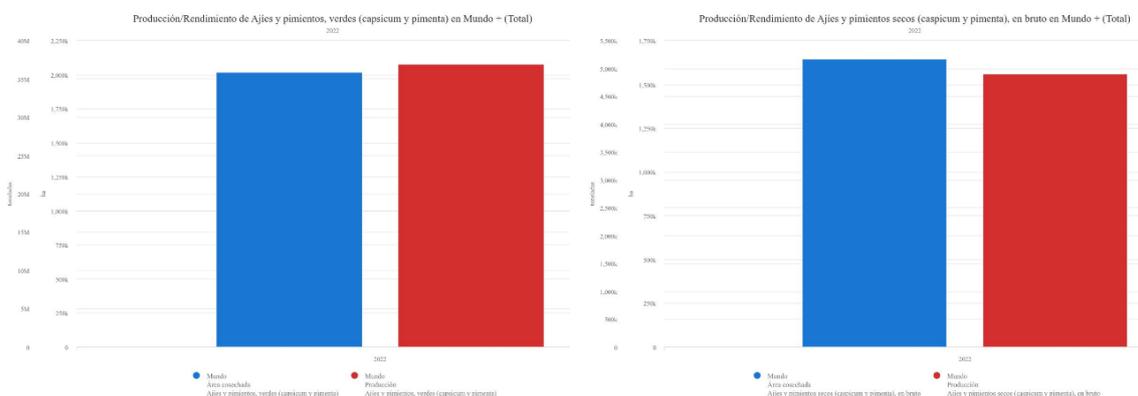


Figura 2. Hectáreas y producción del cultivo de pimiento en fresco y en seco. Fuente: FAO (2022).

Hablando de la producción en fresco de este fruto, de acuerdo con la (FAO, 2022), China se encuentra en cabeza en cuanto a la producción de pimiento con casi 17 millones toneladas (Figura 3). Lejos de China, aunque es el segundo país que más produce, se encuentra Méjico con casi 3,2 millones de toneladas. España se encuentra entre las grandes potencias productoras, concretamente, en la posición 5, con una producción 1,5 millones de toneladas (Figura 3) (FAO, 2022).

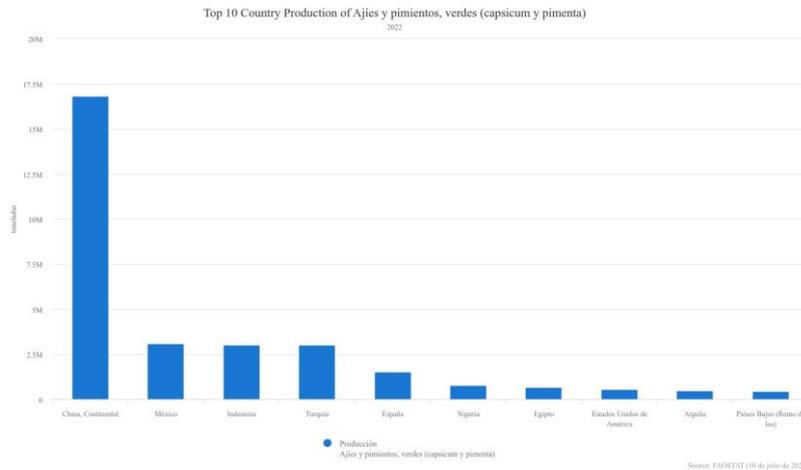


Figura 3. Datos de países productores de Ajíes y pimientos. fuente: (FAO, 2022)

Sin embargo, cuando nos referimos a la producción bruta en seco (Figura 4), los datos cambian, siendo India el país referente en la producción de este producto con un total de 1,8 millones de toneladas. Al este de la India, se encuentra Bangladesh, el segundo posicionado en referencia a la producción del pimiento en seco con un total de 625 toneladas. En tercer lugar, se encuentra Etiopía con una producción de 328 toneladas brutas de fruto en seco (FAO, 2022).

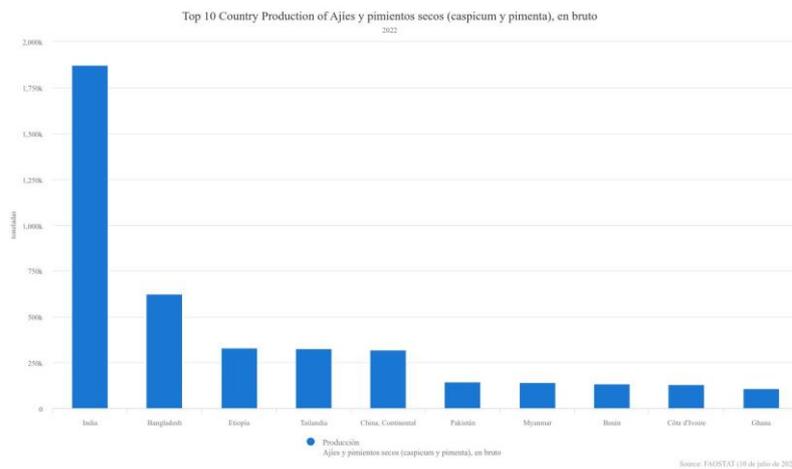


Figura 4. Principales países productores de pimientos o ajíes en bruto para secado. Fuente: (FAO,2022).

Como es de esperar, en cuanto a la producción mundial en fresco (Figura 5), Asia es el continente que más produce, con casi 25 millones de toneladas, lo que supone el 67,3% de la producción mundial, seguido de América (12,9%), Europa (10,2%), África (9,5%) y Oceanía (0,2%). De igual manera, para la producción en bruto de pimiento seco, Asia es el país que más destaca, ya que cuenta con 75,1% de la producción mundial. África,

en este caso ocupa la segunda posición con una producción del 21,9%. Por último, América y Europa representan el 2,3% y 0,7% respectivamente (FAO, 2022).

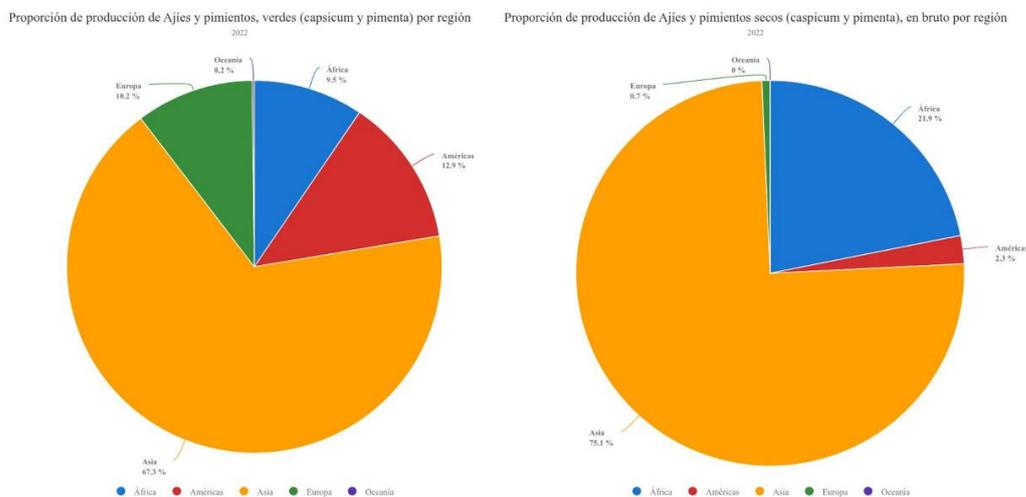


Figura 5. Producción a nivel continental de pimiento en fresco y en seco. Fuente: FAO (2022).

1.2 Descripción taxonómica, citológica y botánica.

El género *Capsicum* pertenece a la familia Solanaceae y al orden Solonales (Mongkolporn & Taylor, 2011). Las especies que se encuadran en el género *Capsicum*, son diploides, es decir, presentan una dotación cromosómica de 24 cromosomas ($n = x = 12$) (Csilléry, 2006; Mongkolporn & Taylor, 2011). *Capsicum annuum* L. es una especie diploide, pero se han reportado casos de especies silvestres que poseen $2n = 2x = 26$ cromosomas (Jha et al., 2017; Jha & Bhowmick, 2021; Mongkolporn & Taylor, 2011). También se han reportado casos de cultivares poliploides como “Dalle Khursani”, procedente y descubierta en el estado de Assam, India (Figura 6) (Jha et al., 2017). Del género *Capsicum* se conocen alrededor de 35 especies (Bosland & Votava, 2012) siendo 5 de estas especies las que han sido domesticadas y que son cultivadas (Jha & Bhowmick, 2021; Mongkolporn & Taylor, 2011; Moscone et al., 2007). Las especies 5 especies que son cultivadas son las siguientes: *Capsicum annuum* L., *C. baccatum* L., *C. chinense* jacq., *C. frutescens* L. y *C. pubescens* Ruiz et Pav (Csilléry, 2006; Jha et al., 2017; Jha & Bhowmick, 2021; Moscone et al., 2007).

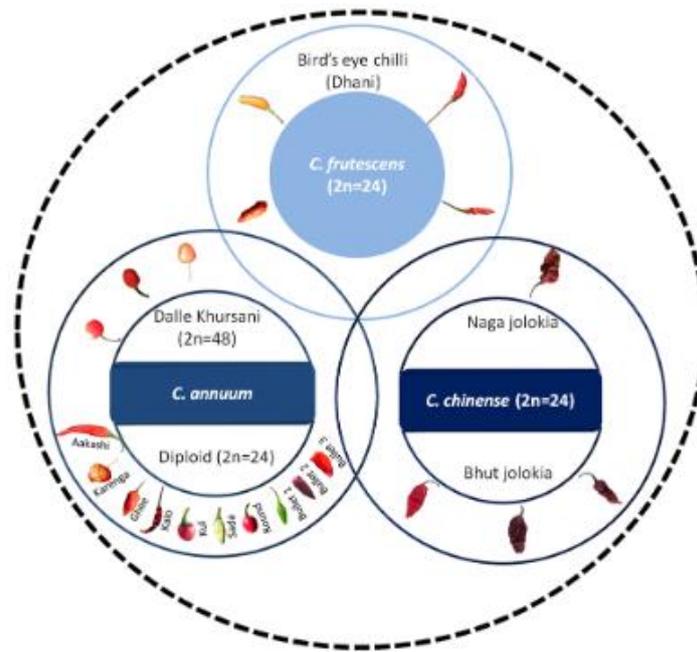


Figura 6. Niveles de ploidía en el género *Capsicum*. fuente:(Jha & Bhowmick, 2021)

El pimiento es una planta herbácea perenne (Álvarez & Pino, 2018), que en condiciones adecuadas y con una poda previa, puede producir cosecha al año siguiente, lo que permite dos ciclos de cultivo (Reche, 2010). Presenta un porte variable, que oscila entre los 0,5 y 2 metros de altura, siendo las plantas más altas, típicamente, aquellas cultivadas como híbridos en invernadero (Pino & Álvarez, 2018). Las flores del pimiento son hermafroditas; la flor masculina cuenta con cinco estambres y un pistilo, mientras que la flor femenina tiene una estructura similar (Faúndez, Faúndez, & Flores 2017).

El fruto del pimiento es una baya hueca y no jugosa, con una superficie lisa que a menudo presenta surcos. Durante su etapa inmadura, el fruto suele ser de color verde, mientras que al madurar adopta tonalidades rojas, amarillas o naranjas, según la variedad. Este fruto se destaca por la gran diversidad de formas y tamaños que puede presentar (Rodríguez, 2017).

Las semillas del pimiento son ovaladas o lenticulares, aplanadas, de color amarillo claro y de textura suave. Estas semillas están separadas de la pulpa del fruto y se insertan en una placenta cónica ubicada en la zona de mayor grosor del fruto (Reche, 2010). Es en esta estructura donde se acumula principalmente la capsaicina, el compuesto responsable del picor en algunas variedades de pimientos (Rodríguez, 2017).

1.3 Origen, domesticación y distribución.

El género *Capsicum* tiene su origen en la zona tropical de América del Sur (Albrecht et al., 2012). Los territorios situados al noroeste de América del Sur que abarcan esta región incluyen Perú, Colombia, Ecuador y Bolivia (Mongkolporn & Taylor, 2011; García Romero, 2008). El género *Capsicum* ha sido domesticado en dos áreas principales. La primera, conocida como el centro primario (Dias et al., 2012). En el centro primario fue, donde una especie ancestral con características similares a *Capsicum chacoense*, tras una serie de hibridaciones y mutaciones espontáneas (Carrizo García et al., 2016), se distribuyó a otras regiones conocidas como centros secundarios, particularmente en Brasil (Carrizo García et al., 2016; Dias et al., 2012). Brasil es considerado un centro secundario de diversidad para este género (Dias et al., 2012).

Específicamente, *C. annuum* y *C. frutescens* fueron domesticados en Mesoamérica (Albrecht et al., 2012; Carrizo García et al., 2016; Ibiza et al., 2012; Mongkolporn & Taylor, 2011), siendo México el primer centro de diversidad. *C. annuum* también tiene centros secundarios de diversidad distribuidos en el Mediterráneo, el sudeste asiático, India, América Central y el norte de América del Sur (Ibiza et al., 2012).

El pimiento fue introducido en el Viejo Mundo (África, Asia y Europa) por Colón durante su primer viaje en 1493. Para el siglo XVI, su cultivo ya se había difundido en España, desde donde se distribuyó al resto de Europa con la ayuda de los portugueses (García Romero, 2008).

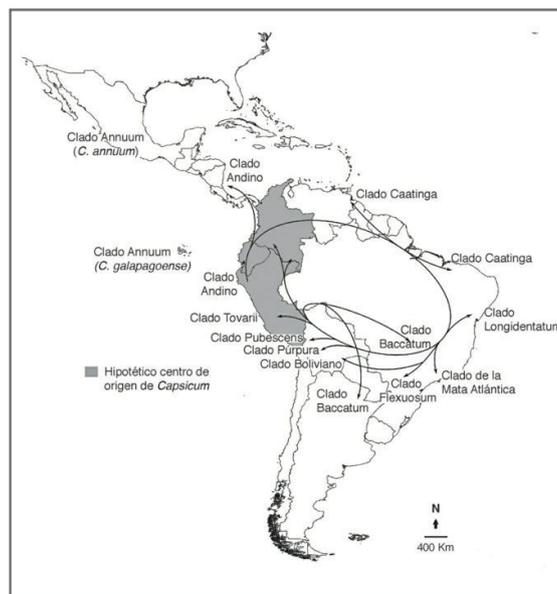


Figura 7. Hipótesis del centro de origen y diversificación de las especies del género *Capsicum*. Fuente: (Carrizo-García, 2016)

1.4 Manejo de cultivo y prácticas culturales del pimiento

1.4.1 Condiciones edafoclimáticas

Humedad relativa

La planta de pimiento tolera correctamente la humedad, puesto que es fundamental que los valores oscilen entre el 50%-70% (Di Fabio et al., 1999). Una humedad relativa que supere el 85% tiene como consecuencia la reducción de la transpiración, esto, implicaría que la presión del agua derivase hacia el fruto produciendo el agrietado o “*cracking*” (Reche, 2010).

Temperatura

La temperatura óptima diurna para que el cultivo de pimiento se desarrolle prominentemente oscila entre los 20°C-25°C, mientras que las nocturnas oscilan entre 1°C-18°C (Di Fabio et al., 1999). En los meses de julio y agosto se alcanzan temperaturas superiores a 35°C, las cuales, provocan estrés hídrico. Uno de los factores más perjudiciales y sensibles en el cultivo de pimiento. Por eso, es imprescindible dar unos riegos horas antes de para disponer de una buena humedad en el suelo (Reche, 2010). Si la temperatura no supera los 15°C, el crecimiento vegetativo es escaso; cuando las temperaturas están en unos valores entre los 8°C y 10°C, los procesos vegetativos de la planta se paralizan, desarrollando frutos de una calidad muy pobre (Di Fabio et al., 1999).

Tipo de suelo

Para el cultivo de pimiento el suelo debe tener una estructura física fuerte y una buena capacidad de drenaje (Álvarez & Pino, 2018). Preferiblemente, el suelo debe de tener una textura media, profundo y suelto. Por lo tanto, los suelos arcillosos no están recomendados para el cultivo de pimiento (Di Fabio et al., 1999). La textura franco-arenosa y franco-arenosa recogen las características descritas anteriormente, por lo tanto, son los óptimos para el cultivo de pimiento (Serraño, 2011). El pH ideal del suelo

varía entre los valores 5,5 a 7 (Álvarez & Pino, 2018). El cultivo de pimiento es muy sensible a la salinidad, los rendimientos se ven comprometidos cuando la conductividad eléctrica supera los 3,5 dS/m (Di Fabio et al., 1999).

1.4.2 Prácticas preparatorias para el cultivo

La preparación del suelo o sustrato es crucial, ya que, al ser un tipo de cultivo con elevadas exigencias respecto al rendimiento, resulta indispensable realizar una buena praxis pre-cultivo (Di Fabio et al., 1999). La remoción y nivelación del terreno del terreno previa al cultivo, proporciona la aireación y el acolchamiento necesario para el buen desarrollo de la planta (Reche, 2010; López-Marín et al., 2013). El enarenado de suelo es una técnica eficiente debido a que es capaz de disminuir la evaporación del agua del suelo (Lavandera & Checa, 1981). Según Lao & Jiménez (2002) la disminución de la evaporación del agua de suelo conlleva algunas ventajas y efectos como:

- Mayor temperatura de suelo, en invierno implica un incremento de 2°C respecto a los suelos sin enarenar.
- La regulación del agua de riego, ya que, se ahorra en torno a un 20% de agua.
- Facilita el control de las malas hierbas.
- Reducción de la concentración salina en la disolución del suelo, lo que implica que se puedan emplear aguas salinas para el riego.

Al concluir unos 6 años al realizar el enarenado, conviene realizar lo que se denomina “retranqueo”. Consiste en labrar la zona enarenada, estercolar y aportar arena para subsanar las pérdidas en los anteriores cultivos (Reche, 2010; García, 2008).

La desinfección del suelo es esencial en el cultivo de pimiento debido a la susceptibilidad patogénica, la cual, puede provocar grandes estragos en el cultivo (López-Marín et al., 2017). La solarización o biosolarización es una técnica muy útil en el ámbito de la desinfección de suelos, anteponiendo la desinfección química, la cual puede ser perjudicial para algunos ecosistemas (Lagrecá, 2012).

1.4.3 Prácticas culturales en el cultivo de pimiento

Para la buena optimización del cultivo de pimiento se deben realizar unas buenas prácticas culturales para garantizar el buen rendimiento de la planta. Las técnicas como

la poda y el entutorado son técnicas útiles para mejorar la producción y la calidad del cultivo (Urrestarazu et al., 2002). La poda, por ejemplo, ayuda de manera eficiente a la distribución de la luz por la planta y a mejorar la ventilación (Ortega, 2024). El entutorado es esencial, ya que proporciona sostén y ventilación a la planta de pimiento. Además, permite aprovechar mejor el espacio con el objetivo de aumentar la población y producción (Calderón & Ochoa, 2024).

El aporcado de tallos es otra técnica de interés. Consiste en cubrir la base del tallo de la planta con el objetivo de fortalecer el sistema radicular (Reche, 2010; García, 2008; Pino & Álvarez, 2018). Aunque cabe destacar que en suelos enarenados debe postergarse lo máximo posible para evitar quemaduras en la base del tallo debido al sobrecalentamiento de la tierra (Pino & Álvarez, 2018).

El riego es un carácter en el que poner especial énfasis, esto es debido a que el suelo necesita bastante uniformidad durante el desarrollo vegetativo de la planta (López-Marín et al., 2017). Durante la fase de floración y cuajado de fruto la sensibilidad al estrés hídrico es especialmente alta. Un mal cuajado de fruto, senescencia floral o frutal y necrosis son las causas esenciales de controlar el regadío para evitar un exceso o déficit de este (Reche, 2010).

1.4.4 Necesidades nutricionales del cultivo de pimiento

El cultivo de pimiento necesita grandes exigencias de nitrógeno (N) durante su ciclo ya que es altamente sensible (López-Marín, 2017; Jiménez, 2021). El aumento de clorofila, floración y el tiempo de maduración de los frutos, entre otros, han sido relacionados con el aporte de este nutriente (Camacho et al., 2014).

Otros nutrientes como el potasio (K) actúan directamente en parámetros de la calidad, la precocidad y coloración del fruto (Jiménez, 2021). Además, este elemento presenta una gran relación en la calidad organoléptica, concentración de fitoquímicos (Preciado-Rangel et al., 2019). El potasio es un activador enzimático y participa activamente en las síntesis de proteínas (Devi et al., 2012). Como consecuencia se ve envuelto en las síntesis de metabolitos secundarios como: flavonoides, ácidos fenólicos, antocianos, clorofila y carotenoides (Ibrahim et al., 2012).

El déficit de calcio (Ca) se ve reflejado en la aparición de lo que conocemos como *blossom - end rot*, la pudrición apical del fruto que afecta a cultivos como el pimiento, el tomate, berenjena o melón entre otros (Silva et al., 2017). Por lo que se puede decir que

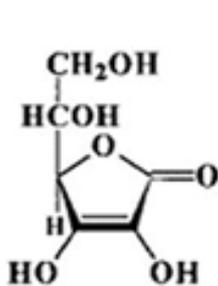
el calcio afecta directamente a la correcta formación del fruto y promover una mayor resistencia de los tejidos (Jiménez, 2021).

1.4.5 Cosecha y post cosecha del fruto

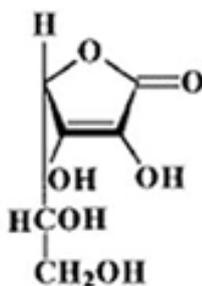
La cosecha del fruto de pimiento se realiza de forma manual (Jiménez, 2021), se debe recolectar cortando por encima del fruto para dejar parte del pedúnculo (López-Marín et al., 2017). Normalmente, se cosecha en torno a los 80-120 días posteriores al trasplante, aunque también está un poco determinado por el mercado, el clima, el precio y el estado de madurez (Pino & Álvarez, 2018). Al tratarse de un fruto no climatérico, es decir, que no aumenta la producción de etileno tras la cosecha de este, debe recolectarse con la madurez deseada (Escalona, Contreras & Olivares, 2019).

1.5 Características nutricionales y parámetros de interés en la mejora genética de pimiento

Vitamina C



Ácido L Ascórbico



Ácido D Ascórbico

Figura 8. Estructura química de los isómeros de ácido ascórbico. Fuente; (Serra y Cafaro, 2007).

El aumento del contenido de vitamina C (Figura 8) en los pimientos es uno de los objetivos principales en la mejora genética debido a sus múltiples beneficios para la salud humana. La deficiencia de vitamina C es un problema de salud en algunas poblaciones, y el consumo de pimientos ricos en esta vitamina podría ayudar a mitigar esta deficiencia (Carr & Maggini, 2017). La vitamina C es un potente antioxidante que

ayuda a proteger las células contra el daño oxidativo, refuerza el sistema inmunológico y facilita la absorción de hierro en el intestino (Naidu, 2003). Además, dado que la vitamina C mejora la absorción de hierro, su incremento en los pimientos puede ser particularmente beneficioso en dietas que carecen de suficiente hierro (carr et al., 2013). La ingesta entre 60 y 80 g de pimiento al día es recomendada, debido a que proporciona el 100% de los valores diarios recomendados de vitamina C (Palma et al., 2015; Jin et al., 2023). Las variedades de pimientos con altos niveles de vitamina C pueden ser seleccionadas y cruzadas para obtener descendientes con niveles aún mayores de este nutriente (Marín et al., 2004).

La concentración de vitamina C en los pimientos varía considerablemente entre las diferentes variedades. Se han identificado genes específicos responsables de la biosíntesis y acumulación de vitamina C, lo que facilita el desarrollo de variedades mejoradas (Wolucka & Van Montagu, 2003). Además, el ambiente de cultivo y las prácticas agrícolas también pueden influir en el contenido de vitamina C, por lo que la adaptación de prácticas culturales adecuadas es esencial para maximizar la expresión genética de este nutriente (Dumas et al., 2003).

El impacto de la vitamina C en la calidad de los pimientos no solo se limita a sus beneficios nutricionales, sino que también mejora la resistencia postcosecha. Estudios han mostrado que un mayor contenido de vitamina C puede aumentar la vida útil de los pimientos al reducir el deterioro oxidativo durante el almacenamiento (Gómez-Maqueo et al., 2020). Este aspecto es crucial para los productores y distribuidores, ya que puede reducir las pérdidas postcosecha y mejorar la rentabilidad (Lee & Kader, 2000).

Carotenoides

Los carotenoides son otro grupo de compuestos bioactivos de gran interés en la mejora genética del pimiento debido a sus propiedades antioxidantes y su contribución a la salud ocular y cardiovascular (Bohn, 2019). Entre los carotenoides presentes en los pimientos, el betacaroteno es particularmente importante, ya que se convierte en vitamina A en el organismo, esencial para la visión, el crecimiento y la función inmunológica (Rodríguez-Amaya, 2016).

La variabilidad genética en el contenido de carotenoides entre las variedades de pimiento ofrece una valiosa oportunidad para la selección y el cruce dirigidos (Álvarez-Parrilla et al., 2012). Los carotenoides tienen la capacidad de neutralizar los radicales libres en el cuerpo, lo que ayuda a reducir el riesgo de enfermedades crónicas como las

enfermedades cardiovasculares y ciertos tipos de cáncer (Eggersdorfer & Wyss, 2018). Además, se ha demostrado que una dieta rica en carotenoides puede mejorar la salud ocular y reducir la incidencia de enfermedades como la degeneración macular relacionada con la edad (Bernstein et al., 2016).

El caroteno y el licopeno se derivan del fitóeno, el licopeno sufre una ciclación que da lugar a la formación de α -caroteno y β -caroteno. A su vez, las xantofilas se producen mediante la hidroxilación de los carotenos (Nisar et al., 2015). En los pimientos, las moléculas de anteraxantina y violaxantina son transformadas en capsantina y capsorrubina a través de la enzima capsantina-capsorrubina sintasa (CCS) (Guzman et al., 2010; Wahyuni et al., 2011). Los carotenoides responsables del color rojo son principalmente la capsantina y la capsorrubina, que constituyen entre el 30% y el 60% del total de carotenoides. En cambio, el α - y β -caroteno, la zeaxantina, la luteína y la β -criptoxantina son los principales responsables del color amarillo-naranja (Choi, Kim & Han, 2023).

Los carotenoides no solo aportan beneficios para la salud humana, sino que también influyen en las características sensoriales del fruto, como el color, que es un factor clave en la aceptación del consumidor (Giovannucci, 2002). Variedades de pimiento con colores vibrantes, debido a altos niveles de carotenoides, son más atractivas en el mercado, lo que puede aumentar su demanda y valor comercial (Wurtzel et al., 2012). Además, el contenido de carotenoides puede influir en el sabor y la textura del pimiento, mejorando la experiencia del consumidor y fomentando un mayor consumo de vegetales (Thybo et al., 2006).

Otra ventaja de los carotenoides es su papel en la resistencia de las plantas a condiciones de estrés abiótico. Estudios han demostrado que los carotenoides pueden proteger las plantas contra el daño causado por la luz solar intensa y la sequía, lo que es crucial para mantener el rendimiento y la calidad del cultivo en condiciones ambientales adversas (Demmig-Adams et al., 2012).

Azúcares

La concentración de azúcares en los pimientos es otro objetivo clave en la mejora genética debido a su impacto en el sabor y la aceptabilidad del consumidor. Los azúcares, principalmente glucosa, fructosa y sacarosa, son responsables del sabor dulce de los pimientos, que es una característica deseable tanto en el consumo fresco como en la cocina (Rodríguez-Burruezo et al., 2009).

Estudios han demostrado que las prácticas de cultivo, como la irrigación y la fertilización, también pueden influir significativamente en el contenido de azúcares, lo que sugiere que una combinación de selección genética y manejo agronómico pueda optimizar esta característica (Lester et al., 2010).

El contenido de azúcares no solo mejora el sabor de los pimientos, sino que también puede tener implicaciones para la salud. Los azúcares naturales de los pimientos pueden proporcionar una fuente rápida de energía y contribuir a una dieta equilibrada cuando se consumen en moderación (Valenzuela et al., 2019). Además, los pimientos con un alto contenido de azúcares pueden ser más atractivos para los consumidores, lo cual aumenta su consumo y, en consecuencia, la ingesta de otros nutrientes beneficiosos presentes en los pimientos, como las vitaminas y los antioxidantes (Rodríguez-Burruezo et al., 2009).

Otro aspecto importante es que los azúcares pueden influir en el proceso de secado y conservación de los pimientos. Estudios han mostrado que los pimientos con mayor contenido de azúcares tienen mejores características de secado y una mayor capacidad de retención de sabor, lo que es beneficioso para la producción de pimientos secos y en polvo (Howard et al., 2014).

1.6 Cultivo Ecológico

Actividades industriales, malas prácticas culturales, la expansión de las áreas urbanas y otros factores, han provocado el desplazamiento y el reajuste de numerosos ecosistemas naturales (D'Amour et al., 2017). Igualmente, el uso de variedades hortícolas modernas de gran rendimiento, resistencia a enfermedades, mayor atracción del fruto, mejores características nutricionales etc. Con el tiempo ha provocado una marcada erosión genética de los cultivos y, a su vez, una alarmante pérdida de diversidad biológica (Martínez-Ispizua et al., 2020). Por estas razones, las prácticas agrícolas sostenibles y ecológicas con el medio ambiente han incrementado (Ribes-Moya et al., 2018). La agricultura orgánica, también llamada agricultura biológica o ecológica. Combina métodos agrícolas tradicionales más orientados a la conservación con tecnologías y prácticas culturales modernas (Reganolf & Wachter, 2016). La agricultura ecológica tiene 3 objetivos principales: la salud ambiental, la rentabilidad económica y la equidad social (Mona, Mohamed & Ali, 2023). Además, la agricultura ecológica se está expandiendo en los últimos años, esta, ofrece a los agricultores una buena alternativa para diversificar y enriquecer los sistemas de producción (Šeremešić

et al., 2024). En la actualidad, los cultivos que predominan en la producción ecológica son materiales pertenecientes a líneas F1 modernas, con un *pool* genético bastante limitado (Ribes-Moya et al., 2018). Sin embargo, variedades tradicionales, ecotipos y variedades conservación constituyen una amplia diversidad genética. Así mismo, las mencionadas fuentes de recursos fitogenéticos, en el pasado, fueron cultivadas bajo condiciones similares a las del actual cultivo orgánico (Pereira-Dias et al., 2019; Fita et al., 2015; Rodríguez-Burruezo, Fita & Pereira-Días., 2016).

1.6.1 Reglamentación del cultivo ecológico (UE)

Al igual que otros países de la Unión Europea, la agricultura ecológica en España estuvo regulada por primera vez por la directiva europea (CEE) 2092/91. Actualmente, esta producción se rige por el Reglamento (CE) 834/2007 del Consejo Europeo, de 28 de junio de 2007, sobre elaboración y etiquetado de productos de origen ecológico, quedando derogado el Reglamento (CEE) 2092/91. El Reglamento (CE) 834/2007 establece los objetivos y principios que subyacen a este sistema y las normas generales aplicables a la producción, transformación, almacenamiento, transporte, etiquetado y comercialización. Además, este reglamento se aplica a todos los empresarios que participan en todas las etapas de la producción, preparación y distribución de productos orgánicos. Sin embargo, el 1 de enero de 2022 entró en vigor el Reglamento 2018/848 sobre agricultura ecológica y etiquetado de productos ecológicos. Este cambio se debe a la necesidad de incluir en esta ley productos estrechamente relacionados con la agricultura, como la sal, los aceites esenciales, el corcho, la producción de algodón y lana. Del mismo modo, este nuevo reglamento no sólo armoniza las normas a nivel de la Unión Europea, sino que también extiende la armonización, esta vez, a países fuera de la Unión Europea que cumplen con las medidas de este reglamento.

1.7 Contexto de la producción ecológica y el cambio climático. Variedades tradicionales y material heterogéneo

El mejoramiento genético puede ser una herramienta efectiva para abordar los problemas descritos anteriormente. No obstante, la incorporación de genes de tolerancia, identificados en nuevas fuentes de variación, en variedades comerciales puede requerir muchos años (Fita et al., 2015). Por esta razón, en el contexto de la producción ecológica, tanto las variedades tradicionales (Raggi et al., 2022; Fita et al.,

2015) como el material heterogéneo son esenciales para enfrentar los retos del cambio climático. Su capacidad de adaptación, junto con su contribución a la biodiversidad y la resiliencia de los sistemas agrícolas, las convierten en componentes fundamentales de una agricultura sostenible y ecológica (Rodríguez-Burruezo, Fita & Pereira, 2016; Martínez-Ispizua et al., 2021).

La agricultura contribuye significativamente a las emisiones de gases de efecto invernadero, lo que agrava el cambio climático (IPCC, 2019). La producción ecológica, que evita el uso de fertilizantes y pesticidas sintéticos, puede mitigar estas emisiones mediante prácticas sostenibles como la rotación de cultivos, el uso de compost y la conservación del suelo (IFOAM, 2018). Estas prácticas no solo reducen las emisiones, sino que también aumentan la resiliencia de los sistemas agrícolas frente a eventos climáticos extremos (Reganold & Wachter, 2016).

La Comisión adoptó medidas para asegurar un acceso más eficiente al mercado para las variedades tradicionales y adaptadas localmente, facilitando así su uso más amplio y su demanda (Raggi et al., 2022). En el mismo contexto, se incentivó el registro de materiales heterogéneos aptos para la agricultura ecológica. Además, la Política Agrícola Común (PAC) de la Unión Europea, cuya implementación se completó en septiembre de 2023, contempla medidas específicas para el apoyo de la conservación in situ de los recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura (PGRFA, por sus siglas en inglés), aplicables también en países fuera de la UE, como el Reino Unido (Artículo 39 del TFUE).

1.7.1 Importancia de las variedades tradicionales de pimiento y sus aplicaciones en la mejora genética

Como se menciona anteriormente, las variedades tradicionales poseen una rica diversidad genética lo que les confiere una mayor capacidad de adaptación a condiciones ambientales variables y en condiciones de estrés (Ceccarelli, 2015; Fita et al., 2015; Rodríguez-Burruezo, Fita & Pereira, 2016; Martínez-Ispizua et al., 2021). También, preservan el patrimonio cultural y gastronómico de las regiones donde se cultivan (Rodríguez-Burruezo, Fita & Pereira, 2016). Han sido seleccionadas por agricultores durante generaciones por sus características únicas, como el sabor, la textura y la resistencia a enfermedades (Mendes et al., 2016). Por ejemplo, el pimiento de Padrón, cultivado en Galicia, España. Procedente de México, por los monjes franciscanos que introdujeron y adaptaron su cultivo en el siglo XVII. Es conocido por su sabor único y su capacidad de adaptarse a las condiciones locales (Pereira-Dias et

al., 2019). Este movimiento de germoplasma desde México podría haber incluido los ancestros de varios ecotipos presentes en otras regiones del norte de España, como el 'Guernika', que muestra una morfología de fruto similar a la de los pimientos de Padrón (Rodríguez-Burruezo, Fita & Pereira., 2016).

La conservación de estas variedades es crucial para mantener la biodiversidad agrícola, que es esencial para la resiliencia de los sistemas agrícolas frente a cambios ambientales y climáticos. Además, las variedades tradicionales suelen requerir menos insumos externos, lo que las hace ideales para la producción ecológica (Brush, 2008; Fita et al., 2015; Rodríguez-Burruezo, Fita & Pereira., 2016).

Las variedades tradicionales, son esenciales para la agricultura sostenible y la mejora genética debido a su diversidad genética y adaptabilidad local (Prohens et al., 2017). Cultivadas durante generaciones, estas variedades presentan características que mejoran la resiliencia frente a plagas, enfermedades y cambios climáticos (Casañas et al., 2017; Rodríguez-Burruezo et al., 2010; Prohens et al., 2017).

Diversidad Genética: La diversidad genética es crucial para la sostenibilidad agrícola. Las variedades tradicionales de pimiento ofrecen resistencia a enfermedades y tolerancia a condiciones adversas, que son esenciales para la adaptación futura de los cultivos (Hajjar & Hodgkin, 2007; Dwivedi et al., 2016). Esta diversidad genética actúa como un seguro frente a la homogeneización de cultivos comerciales, proporcionando una base genética amplia para la selección y mejoramiento (FAO, 2010). La conservación de esta diversidad es vital para asegurar la resiliencia y estabilidad de los sistemas agrícolas a largo plazo (Brush, 2008).

Adaptabilidad Local: Las variedades tradicionales son altamente productivas y resistentes en sus regiones de origen. Pueden tolerar suelos pobres y prácticas de bajo insumo, superando a menudo el rendimiento de variedades comerciales en condiciones adversas (Gepts, 2006; Rodríguez-Burruezo et al., 2009). Esta adaptabilidad local las hace indispensables para la agricultura sostenible, ya que requieren menos insumos químicos y manejo intensivo (Altieri, 2004).

Calidad Organoléptica y Nutricional: Estas variedades poseen perfiles de sabor y calidad nutricional superiores, con niveles más altos de carotenoides, flavonoides y vitamina C, enriqueciendo tanto el valor nutricional como la percepción sensorial (Dwivedi et al., 2016). La diversidad organoléptica ofrece oportunidades para mercados que valoran productos con características específicas (Guzmán & Bosland, 2017).

1.7.2 Objetivos de Mejora Genética con Variedades Tradicionales

Resistencia a Enfermedades y Plagas

Los genes de resistencia presentes en variedades tradicionales pueden ser utilizados para mejorar las variedades comerciales, reduciendo la dependencia de pesticidas y mejorando la sostenibilidad del cultivo. Estudios previos, han demostrado que estas variedades tradicionales pueden contener genes de resistencia a una variedad de patógenos, lo que es esencial para el desarrollo de nuevas variedades resistentes (Barchenger et al., 2018). Por ejemplo, se ha identificado resistencia a *Phytophthora capsici* en cultivares tradicionales de la variedad Pasilla (Reyes-Tena et al., 2021). La utilización de esta diversidad genética es clave para enfrentar nuevos desafíos fitosanitarios (Pérez, Leyva & Gómez, 2018).

Mejora de la Calidad Nutricional

La inclusión de genes de variedades tradicionales puede aumentar los niveles de nutrientes esenciales en nuevas variedades de pimiento. Se ha demostrado niveles más altos de vitamina C y carotenoides en estas variedades comparadas con las comerciales (Flores et al., 2007), respondiendo a la demanda de alimentos más saludables y funcionales (Dwivedi et al., 2016). Estos mejoramientos no solo atienden a la demanda del consumidor, sino que también contribuyen a la salud pública al ofrecer productos con mayor contenido nutricional (Howard et al., 2000).

Adaptación a Condiciones Climáticas Extremas

Las variedades tradicionales son fuentes importantes de tolerancia a estrés abiótico como sequía, altas temperaturas y suelos pobres, cruciales en el contexto del cambio climático (Dwivedi et al., 2016). La adaptación a la salinidad del suelo en algunas variedades tradicionales es vital para la producción en regiones afectadas por la salinización (Paran & van der Knaap, 2007). Estas características son invaluable para desarrollar cultivares que garanticen la seguridad alimentaria bajo escenarios climáticos adversos (López & Sánchez, 2017). Investigaciones han mostrado que estas variedades pueden mantener la productividad en condiciones climáticas extremas, lo que es esencial para la seguridad alimentaria futura (Chaves et al., 2011).

1.7.3 Material Heterogéneo

Los cultivos de las poblaciones de material heterogéneo poseen una amplia variabilidad genética dentro de un mismo campo. Esta heterogeneidad permite que las plantas respondan de manera flexible a las fluctuaciones ambientales, como cambios en la temperatura, la humedad y la presencia de plagas (Döring et al., 2011). La heterogeneidad genética es crucial para la resiliencia de los sistemas agrícolas, ya que reduce el riesgo de pérdida total de la cosecha ante eventos adversos (Altieri & Nicholls, 2019).

La heterogeneidad genética dentro de una población puede aumentar la resiliencia del cultivo al proporcionar una defensa natural contra plagas y enfermedades. Esta diversidad genética contribuye a una mayor estabilidad del rendimiento en condiciones de estrés ambiental, como sequías o temperaturas extremas (Mercer & Perales, 2010). Por ejemplo, se ha demostrado que los programas de mejoramiento basados en la genómica y en técnicas de selección asistida por marcadores han sido eficaces para desarrollar variedades de pimiento, partiendo de variedades tradicionales, con resistencia a patógenos como *Phytophthora capsici*, virus como el mosaico del pepino (CMV) y el virus del mosaico del tabaco (TMV) (Lozada et al., 2022). Estas poblaciones también han mostrado una mayor adaptabilidad a diferentes condiciones de suelo y clima, lo que las hace particularmente útiles y resilientes en sistemas de agricultura ecológica (Casañas et al., 2017).

La implementación de variedades heterogéneas en la agricultura ecológica puede llevarse a cabo mediante la selección participativa, donde los agricultores colaboran con científicos para seleccionar y mejorar las poblaciones de cultivos. Este enfoque permite el desarrollo de cultivos más resistentes y adaptados a las condiciones locales (Almekinders & Elings, 2001).

Además, las prácticas de agricultura ecológica que fomentan la biodiversidad, como la rotación de cultivos y la asociación de cultivos, pueden beneficiarse del uso de material heterogéneo. Estas prácticas no solo mejoran la resiliencia del sistema agrícola, sino que también pueden aumentar la productividad y la sostenibilidad a largo plazo (Altieri, 2004). Por estas razones, donde sea pertinente, resulta fundamental impulsar la conservación en finca de variedades locales y otros materiales heterogéneos a nivel regional, (ECPGR, 2017).

2. Objetivos

En el presente estudio se realiza es una colaboración entre el COMAV (Instituto Universitario de Conservación y Mejora de la Agrodiversidad Valenciana) y la Unión Europea (UE, Proyecto LIVESEEDING). Este estudio forma una parte del proyecto de la presente colaboración mencionada. El proyecto está ambientado en el marco de la agricultura ecológica y la adaptación de variedades tradicionales y material heterogéneo de pimiento en condiciones de bajos insumos en L´Horta Nord y Sur de Valencia.

Por tanto, los objetivos del presente estudio son los siguientes:

Evaluar la adaptación de 15 variedades tradicionales de pimiento en dos condiciones ambientales diferentes (Meliana y Picassent), así como una colección de material heterogéneo en Picassent, en condiciones agroecológicas y de bajos insumos.

Variedades tradicionales:

- Evaluación de la calidad organoléptica de 15 variedades tradicionales de pimiento, estudiando su rendimiento por planta (T/Ha), contenido de ácido ascórbico (Vitamina C), carotenoides rojos, carotenoides amarillos - naranjas, carotenoides totales y su contenido en agua.
- Estudiar si dichos parámetros varían con el cambio de ambiente, evaluando para ello, las variedades objeto de ensayo, cultivadas: en Picassent, situada en L´Horta Sur de Valencia; y en Meliana, en L´Horta Nord de Valencia.

Material heterogéneo:

- Analizar los caracteres agronómicos principales de la semilla doble híbrida, en condiciones de déficit hídrico, con el propósito de seleccionar aquellos individuos óptimos para dar lugar a la siguiente generación.
- Medir el rendimiento total (g), Peso medio de fruto (g) y contenido en Sólidos Solubles Totales (SST).

3. Materiales y Métodos

3.1 Material Vegetal

3.1.1 Variedades Tradicionales

En este trabajo se han evaluado 15 variedades tradicionales (Tabla 1) (Figura 9) del género *Capsicum annum* L. Esta colección abarcó variedades tradicionales de pimiento que proceden del banco de germoplasma del COMAV. El código BGV es el código distintivo del banco de germoplasma del COMAV (Rodríguez-Burruezo, Fita & Pereira-Días, 2016)

Tabla 1. Variedades tradicionales evaluadas en este estudio. Fuente; Elaboración propia.

VARIEDAD	TIPO DE FRUTO	PROCEDENCIA			
		PROVEEDOR	LOCAL.	Prov.	COM. AUTONOMA
BGV13004	Morrón de asar	COMAV	----	Vizcaya	País Vasco
BGV4322	Morrón Murcia	COMAV	Cartagena	Murcia	Región de Murcia
BGV5030	Morrón Valenciano	COMAV	Xeraco	Valencia	Com. Valenciana
BGV5083	Morrón de asar	COMAV	Onda	Castellón	Com. Valenciana
BGV5126	Morrón Valenciano	COMAV	Muchamiel	Alicante	Com. Valenciana
BGV637	Morrón 4 cascós	COMAV	Cogollos Vega	Granada	Andalucía
BIERZO	Morrón triangular	IGP Bierzo	Carracedelo	León	Castilla y León
BOLA	Ñora	DOP Pimentón Murcia	Totana	Murcia	Región de Murcia
CHILE SERRANO	Serrano	Gr. Mejora Capsicum COMAV	----	----	México
LARGO REUS	Morrón largo	Gr. Mejora Capsicum COMAV	----	Tarragona	Cataluña
NUMEX BJ	Numex	Gr. Mejora Capsicum COMAV	----	Nuevo México	EE. UU.
PADRON	Padrón	DO Herbón	Herbón	Pontevedra	Galicia
PASILLA	Cayena larga	Gr. Mejora Capsicum COMAV	----	----	México
PIQUILLO	Piquillo	DO Piquillo	Lodosa	Navarra	Com. Flor. Navarra
TOPEPO ROSSO	Tomate	Franchi Sementi	----	----	Italia



Figura 9. Variedades Tradicionales de pimienta evaluadas en este estudio. Fuente: Elaboración propia. Fotos procedentes del grupo de investigación de Adrián Rodríguez-Burruezo (COMAV)

3.1.2 Material Heterogéneo

Se realizó un doble híbrido de híbridos simples (Figura 10). BGV-5103 (Pimiento Valenciano) x L275 y Piquillo x L277. Piquillo y BGV- 5103 son variedades tradicionales que proceden de la IGP Piquillo de Lodosa y del Banco de germoplasma del COMAV, respectivamente, mientras que L275 y L277 son variedades tipo blocky que presentan los genes de resistencia a TSW y L4, desarrolladas por el Grupo de Mejora de *Capsicum* del COMAV. Los híbridos simples se cruzaron para obtener la semilla doble híbrida. A continuación, esta semilla fue germinada en semilleros en el COMAV. Posteriormente, las plantas se trasladaron a campo sólo en la localización de Picassent). Se evaluaron individualmente caracteres de la planta y el fruto como: vigor, cobertura foliar, resistencia a cracking, resistencia a *Blossom – end root*, rendimiento, peso medio de fruto y Brix, aunque sólo las tres últimas se reflejan en el presente trabajo.

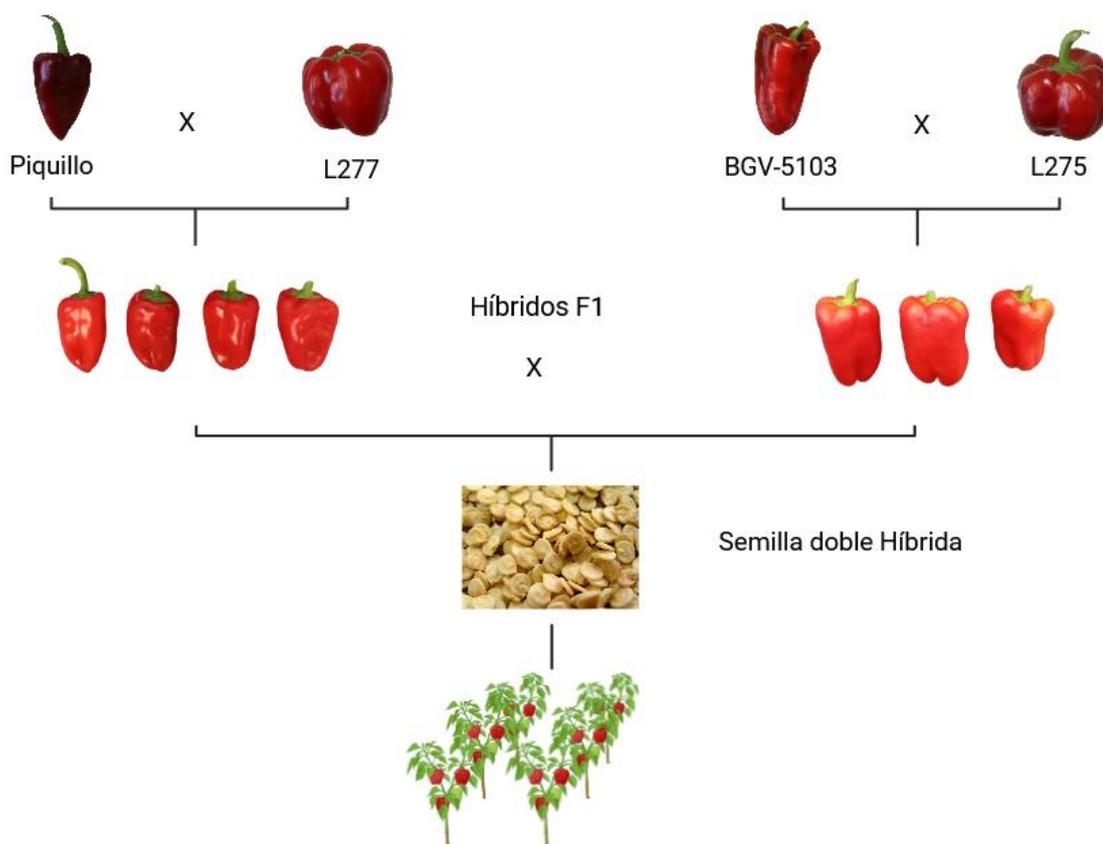


Figura 10. Esquema de la procedencia del material heterogéneo evaluado en este estudio, Fuente: Elaboración propia. Fotos procedentes del grupo de Mejora de *Capsicum* del COMAV

Como se ha mencionado anteriormente, en total, se cultivaron 219 plantas en cada localidad, distribuidas al azar en dos filas, categorizadas con un código único (P1-P219), sujeto a la base del tallo de la planta. En la figura 11, se observa la segregación de los frutos estudiados procedentes de la semilla doble híbrida.



Figura 11. Material heterogéneo evaluado, procedente de la semilla doble híbrida. Fuente: Grupo de Mejora de *Capsicum* del COMAV

3.2 Condiciones de cultivo

Meliana

El ensayo fue llevado a cabo en campo abierto y en condiciones de agricultura ecológica durante la primavera – verano de 2023. El campo de ensayo se localizó en la finca de un agricultor ecológico particular en L’Horta Sur de Valencia (Casas de Bárcenas/Meliana, València) (Figura 12). El suelo tuvo un laboreo previo al cultivo de hortalizas, con un abono de fondo basado en estiércol de oveja (3 kg/m²). El cultivo se desarrolló siguiendo las prácticas ecológicas habituales del productor, incluyendo pulverización de cobre para evitar infecciones fúngicas, escarda manual de malas hierbas, etc. El riego se aplicó por surcos cada dos semanas en los periodos abril-junio y septiembre-octubre, mientras se incrementó a un riego semanal en el periodo julio-agosto, de mayor demanda evaporativa.



Figura 12. Foto de campo (Meliana), donde se llevó a cabo el presente estudio. Fuente: Grupo de Mejora de Capsicum del COMAV.

Picassent

El ensayo fue llevado a cabo en campo abierto y en condiciones de agricultura ecológica durante la primavera – verano de 2023. El campo de ensayo se situó en la finca experimental de Saifrest, empresa desarrollada por agricultores impulsores de la agricultura ecológica en L’Horta Nord de Valencia (Alcasser, València) (Figura 13). El manejo agroecológico fue desarrollado por los productores de Saifrest, siguiendo sus prácticas habituales, incluyendo pulverización de cobre para evitar infecciones fúngicas, escarda manual de malas hierbas, etc. Se aplicó riego localizado al 60% de lo habitual en pimiento, para reproducir condiciones de déficit hídrico.



Figura 13. Foto de campo (Picassent), donde se llevó a cabo el presente estudio. Fuente: Grupo de Mejora de *Capsicum* del COMAV.

3.3 Diseño Experimental

Variedades Tradicionales

En ambas localidades se emplearon doce plantas por genotipo, distribuidas aleatoriamente, siguiendo un diseño experimental de bloques al azar de 3 bloques de 3 o 4 plantas por genotipo. Las plantas se situaron en base a un marco de plantación de 0,4 x 1m, lo que equivalen a 2,5 plantas por metro cuadrado. Adicionalmente, se utilizaron entre 3 y 5 plantas como borde en los extremos de las líneas dispuestas en la finca de ensayo.

Material Heterogéneo

El material heterogéneo se distribuyó a lo largo de 2 líneas de campo en la localidad de Picassent. El número de plantas que representa al material heterogéneo hace un total de 219 plantas, se identifica individualmente a cada planta con etiquetas de cuello con un código único que va del P1-P219. 110 plantas por línea. Las condiciones de cultivo son con exactitud, las descritas anteriormente para la localidad de Picassent.

3.4 Procesado de las muestras

Se cosecharon los frutos de pimiento cuando alcanzaron la madurez fisiológica, es decir, completamente rojos. Posteriormente, se midió el rendimiento en gramos. El rendimiento en gramos se convirtió a una medida agrícola mas representativa como es Toneladas/Hectáreas (T/Ha). El peso medio de fruto se midió en gramos (g), tanto en las variedades tradicionales como el material heterogéneo.

Se prepararon tres réplicas por genotipo, cada una incluyendo de 3 a 5 frutos de las 3-4 plantas de cada bloque (B1, B2 y B3). Los frutos se lavaron, se extrajeron las semillas y se trocearon en trozos pequeños.

El procesado de las muestras se llevó a cabo de forma diferente en base al componente bioactivo que se fuera analizar (Ácido Ascórbico, Carotenoides, Contenido de Agua o Azúcares). Una parte de los frutos se utilizó para obtener extracto líquido usando una licuadora doméstica y un filtro de muselina. Los extractos líquidos se conservaron a -80°C para el posterior análisis de vitamina C.

La otra parte de los frutos se liofilizó y se molió con un molinillo doméstico. Los frutos se pesaron antes de la liofilización para determinar el peso fresco (fw) y después del proceso (peso seco). El polvo liofilizado se almacenó en tubos de plástico en ambiente fresco y seco para los análisis de carotenoides.

3.5 Análisis de los compuestos bioactivos

3.5.1 Ácido Ascórbico (Vitamina C)

La determinación de ácido ascórbico (AA), se basó en el protocolo descrito por Chebrolu. et. al. (2012), con ciertas modificaciones, haciendo uso del HPLC Agilent 1220 Infinity LC System (Agilent Technologies, CA, USA) con un detector de UV-Vis acoplado al HPLC (Figura 14). Una alícuota líquida por réplica se centrifugó durante 5 minutos a 12,000 rpm. Para preservar la vitamina C, evitar su degradación y facilitar el procesado, se añadieron 0,9 mL de ácido metafosfórico al 6% a 0,9 mL de jugo utilizando una micropipeta. Se añadió un volumen de agua Milli-Q® equivalente al volumen de la muestra y el doble del volumen de la muestra en ácido metafosfórico 6%, logrando un factor de dilución final de 1/4. El ácido metafosfórico actúa como agente conservante, previniendo la oxidación de la vitamina C. Cada muestra se homogeneizó con vortex,

se centrifugó 5 minutos a 12,000 rpm. Para obtener muestras más puras se filtró con un filtro de jeringa Phenex – PTFE de 0.20 μm y 15 mm antes de depositarla en viales de HPLC. El contenido de vitamina C se expresó en mg/Kg en peso fresco (pf).

Análisis mediante HPLC

El AA se cuantificó utilizando una columna Teknokroma Brisa LC², con radicales de 18 carbonos (C18) a 254 nm, un diámetro de poro de 3 μm , y unas dimensiones de 150 x 4,6 mm. La fase móvil estaba constituida por metanol 100% (fase A) y agua Milli-Q® con 1% de ácido acético (fase B), utilizando una elución isocrática de 5% A: 95% B y una tasa de flujo de 1 mL·min⁻¹. La cuantificación de la vitamina C se basó en una curva de calibración para el estándar externo de AA (99%).

Las condiciones cromatográficas estaban compuestas por una inyección con un volumen de 5 μL y un flujo de 1 mL/min. El tiempo de retención estimado al que migra el ácido ascórbico se encuentra en torno a los 2,3 min. Éste fue detectado con ayuda de un detector UV-Vis, absorbiendo a una longitud de onda (λ) de 254 nm.

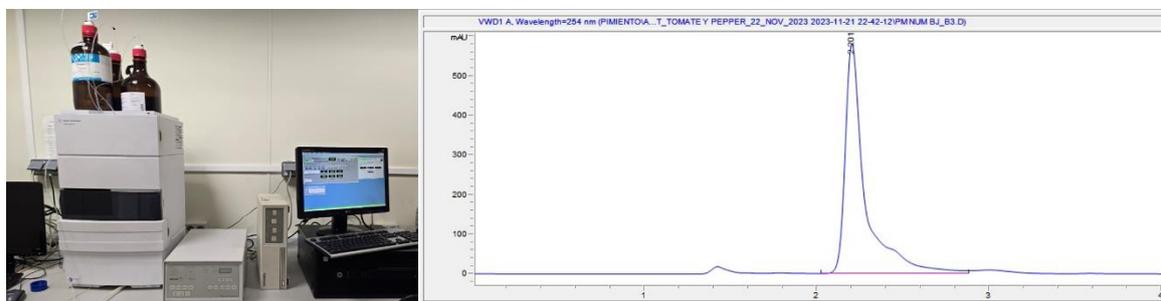


Figura 14. Instrumento HPLC con el que se evaluaron las muestras de este estudio y cromatograma de muestra de la variedad Numex Big Jim. Fuente: Elaboración propia. Fotos procedentes Grupo de Mejora de Capsicum del COMAV.

3.5.2 Análisis del contenido en carotenoides

Para la cuantificación de carotenoides, se utilizó un método descrito por Hornero-Méndez, D. & Mínguez-Mosquera, M. I. (2001). Los carotenoides rojos totales, los carotenoides amarillo-naranja y los carotenoides totales se analizaron por espectrofotometría, con un espectrofotómetro Biotek Epoch 2 (Agilent Technologies, CA, USA). La extracción de carotenoides se realizó utilizando 0.1 g de cada réplica liofilizada en 20 mL de acetona. Posteriormente, cada replica se agitó en un agitador orbital durante 1 hora a 200 rpm, manteniendo las muestras en la oscuridad. Cada réplica se filtró con papel de filtro FILTER – LAB® de 0.11 µm (Filtros Anovia, Barcelona, España) y se añadió acetona hasta completar 25 mL. Los carotenoides se cuantificaron midiendo los valores de absorbancia a 472 nm ($\Delta 472$) y 508 nm ($\Delta 508$) y aplicando las siguientes fórmulas:

$$\text{Total red carotenoids } \left(\frac{\mu\text{g}}{\text{mL}} \right) = \frac{\Delta 508 \cdot 2144 - \Delta 472 \cdot 403.3}{270.9}$$

$$\text{Total yellow - orange carotenoids } \left(\frac{\mu\text{g}}{\text{mL}} \right) = \frac{\Delta 472 \cdot 1724.3 - \Delta 508 \cdot 2450.1}{270.9}$$

Los carotenoides totales se calcularon como la suma de los carotenoides rojos totales y los carotenoides amarillo-naranja totales. Todos los carotenoides se expresaron en µg/g.



Figura 15. Espectrofotómetro con el que se analizaron el contenido de carotenoides en las variedades tradicionales. Fuente: Elaboración propia, procesada con IA.

3.5.3 Contenido en Agua

Para determinar el contenido en agua de las muestras, se sometieron a un proceso de deshidratación en frío en un liofilizador Virtis, modelo 25-SRC-3SP (SP Scientific, PA, USA). Para ello, se tomaron 45-50 gramos de fruto, registrando previamente su peso en fresco (pf). El proceso de liofilización se llevó a cabo durante un periodo de 2 días para su total secado. Después, los fragmentos ya liofilizados se pesaron para obtener el peso seco (ps) después de la pérdida de agua.

3.5.4 Sólidos solubles totales (SST)

Para el análisis de los Sólidos Solubles Totales (SST), se utilizó un refractómetro de mano PAL-BXIACID F5 (ATAGO, Tokio, Japón). Para el procesado de las muestras, se extrajo una parte de forma cuadrada de alrededor de 3 cm x 3 cm, para posteriormente, machacarla con un picador de ajos para obtener jugo, que fue depositado en el refractómetro. Se realizaron de 3 a 5 repeticiones por variedad en diferentes días y semanas entre junio y septiembre de 2023. Los SST se midieron en °Brix.



Figura 16. Machacador de ajos y refractómetro de mano, se utilizaron para el análisis de los sólidos solubles totales (SST). Fuente: Elaboración propia.

3.5.5 Análisis Estadístico

Los datos obtenidos de los análisis de laboratorio fueron procesados utilizando el software estadístico Statgraphics 19, que facilitó la realización de un análisis de varianza multifactorial (ANOVA) para evaluar los factores "Variedad" y "Localidad", así como la interacción entre estos y los compuestos bioactivos evaluados: Rendimiento por planta, contenido de ácido ascórbico (Vitamina C), carotenoides rojos, carotenoides amarillos-naranjas, carotenoides totales y contenido de agua. Además, se realizó un "One-way" ANOVA de un factor para analizar las características (descriptivas) nutricionales, agronómicas y de calidad por separado. Este enfoque permitió identificar diferencias estadísticamente significativas entre los genotipos en términos de contenido de compuestos bioactivos y otros factores asociados.

Para determinar la presencia de diferencias estadísticamente significativas entre los genotipos y localidades para cada parámetro estudiado, se empleó una prueba de comparaciones múltiples. En cada caso, se aplicó el procedimiento de la diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher, utilizando un nivel de confianza del 95%. Esta metodología permitió una evaluación rigurosa y detallada de las diferencias significativas entre los genotipos analizados, asegurando una interpretación precisa de los resultados obtenidos.

Para la elaboración de los histogramas del material heterogéneo se utilizó el programa Excel.

La evaluación de las correlaciones entre los parámetros evaluados del material heterogéneo, así como la elaboración de los *plots*, se llevó a cabo mediante el programa R Studio, utilizando la prueba de correlación de Pearson, con un nivel de confianza del 95%.

4. Resultados y Discusión

4.1 Análisis de la Varianza para la calidad de fruto y rendimiento de las variedades tradicionales

Tabla 2. Resultados del análisis multifactorial (ANOVA) para la evaluación de las características agronómicas y de calidad de las variedades tradicionales. Fuente: Elaboración propia.

Fuente	Rendimiento				Peso Medio de Fruto				Ácido ascórbico			Carotenoides Amar-Nar				
	GL	CM	Valor-P		GL	CM	Valor-P		GL	CM	Valor-P	GL	CM	Valor-P		
Variedad	14	198	0,007	**	14	262470	0	***	14	420372	0	***	14	758681	0	***
Localidad	1	3142	0	***	1	14338	0	***	1	9341	0,757	ns	1	1090000	0	***
Interacción	14	144	0.05	*	14	21065	0,043	*	14	72305	0,7184	ns	14	41971	0,3004	ns
Residuos	60	79			60	47291			59	96699			59	34996		
Total	89				89	345164			88				88			

Fuente	Carotenoides Rojos				Carotenoides Totales				Contenido en Agua			
	GL	CM	Valor-P		GL	CM	Valor-P		GL	CM	Valor-P	
Variedad	14	992018	0	***	14	3300000	0	***	14	0,0049	0	***
Localidad	1	1700000	0,0003	***	1	5510000	0	***	1	0,0035	0,0002	***
Interacción	14	237342	0,0254	*	14	416816	0,1019	ns	14	0,0003	0,3184	ns
Residuos	59	113500			59	258183			59	0,0002		
Total	88				88				88			

El nivel de significancia del Valor-P del ratio estadístico F correspondiente: *, **, *** y ns indican significativo para $P < 0,05$, ** $< 0,01$, *** $< 0,001$ o no significativo ($P > 0,05$). GL: grados de libertad, CM: Cuadrado Medio.

Rendimiento por planta (T/Ha)

Los resultados del análisis de varianza (ANOVA) multifactorial para el rendimiento por planta (T/Ha) indican que tanto la variedad como la localidad influyen significativamente en el rendimiento (Tabla 2). En primer lugar, el efecto de la variedad muestra una diferencia significativa con un valor P-Value = 0,007, lo que sugiere que el rendimiento está significativamente condicionado por la variedad cultivada. Es lo esperado, ya que, hay una gran variabilidad morfológica entre las variedades estudiadas. En segundo lugar, el efecto de la localidad también es significativo (P-Value = 0,0000) (Tabla 2), lo que indica que el entorno ambiental tiene un impacto notable en el rendimiento por planta. Meliana (B), es la localidad que mayor media presenta y de manera significativa respecto a Picassent (A) (Tabla 3). Además, la interacción entre la variedad y la localidad presenta una significancia estadística (P-Value = 0,05) (Tabla 2), lo que sugiere que el rendimiento por planta no solo depende de cada factor por separado, sino también de la interacción entre la variedad y la localidad en que se cultiva. Esto implica que el rendimiento está condicionado tanto por la elección de la variedad como por el ambiente en el que se desarrolla y la combinación de estos factores.

Peso Medio de Fruto (g)

Los resultados del análisis de varianza (ANOVA) multifactorial para el peso medio por planta (g), arrojan que hay diferencias significativas entre las variedades estudiadas (P-Value = 0,0000) (Tabla 2). Estos resultados son normales, debido a la gran variabilidad morfológica entre variedades. Para el factor Localidad, también se encuentran diferencias significativas, lo que indica que el ambiente es un factor crucial para el desarrollo del fruto (P-Value = 0,0000) (Tabla 2). De la misma forma, Meliana (B) presenta superiores resultados significativos respecto a Picassent (A) (Tabla 3). La interacción de estas dos factores (V x L), muestra una diferencia estadísticamente significativa (P-Value = 0,043) (Tabla 2), por lo tanto, el ambiente y el genotipo en su combinación, resultan un factor indispensable para el peso medio de fruto (g).

Ácido ascórbico mg/Kg (pf)

Los resultados del análisis de varianza (ANOVA) multifactorial para el contenido de ácido ascórbico (mg/Kg en peso fresco) (Tabla 2) indican que la variedad tiene un efecto altamente significativo (P-Value = 0,0000), lo que evidencia diferencias marcadas entre las variedades estudiadas. Estas diferencias en los niveles de ácido ascórbico se mantienen consistentes a través de diferentes localidades, reforzando la significancia observada entre las variedades. En contraste, la localidad no presenta un efecto

significativo (P-Value = 0,757) (Tabla 2), lo que sugiere que no hay diferencias apreciables en el contenido de ácido ascórbico entre las localidades de Meliana y Picassent. Asimismo, la interacción entre variedad y localidad no resulta significativa (P-Value = 0,7184) (Tabla 2), lo que implica que las variaciones en el contenido de ácido ascórbico entre las variedades se mantienen estables independientemente de la localidad en la que se cultivan.

Carotenoides Amarillo-Naranjas ($\mu\text{g/g}$)

Los resultados del Análisis de la Varianza (ANOVA) multifactorial para Carotenoides Amarillo-naranjas ($\mu\text{g/g}$) (Gráfica 4) (Tabla 2) muestran que la variedad tiene un efecto significativo (P-Value = 0,0000). Por lo tanto, el efecto variedad muestra un efecto significativo en el contenido de carotenoides amarillo-naranjas. De la misma forma, la localidad muestra un efecto significativo (P-Value = 0,0000) (Tabla 2) en el contenido de este tipo de carotenoides. A pesar del paralelismo observado (Gráfica 4), la localidad de Meliana (A) muestra una diferencia significativa respecto a Picassent (B) (Tabla 2), con un contenido medio de (563,951 ($\mu\text{g/g}$)) y (785,723 ($\mu\text{g/g}$)) respectivamente. El efecto de la interacción entre estos 2 factores muestra una diferencia no significativa, por lo tanto, la interacción de los efectos Localidad-Variedad no interviene en el contenido de carotenoides amarillos-naranjas.

Carotenoides rojos ($\mu\text{g/g}$)

Los resultados del análisis de varianza (ANOVA) multifactorial para el contenido de carotenoides rojos ($\mu\text{g/g}$) indican que tanto la variedad como la localidad tienen un efecto significativo. El análisis muestra diferencias significativas para el factor "Variedad" (P-Value = 0,0000) y para el factor "Localidad" (P-Value = 0,0003) (Tabla 2), lo que sugiere que el contenido de carotenoides rojos está influenciado por ambos factores. Específicamente, la localidad de Picassent (B) (Tabla 4) presenta un contenido medio de carotenoides rojos superior (1441,85 $\mu\text{g/g}$) en comparación con Meliana (A) (Tabla 4), que tiene un contenido medio de 1164,43 $\mu\text{g/g}$. Además, la interacción entre variedad y localidad también es significativa (P-Value = 0,0254) (Tabla 2), lo que indica que el contenido de carotenoides rojos no solo depende de cada factor por separado, sino que está influenciado por la interacción entre la variedad y el ambiente en el que se cultiva.

Contenido de carotenoides totales ($\mu\text{g/g}$)

Según el análisis de la varianza (ANOVA) para el contenido de carotenoides totales ($\mu\text{g/g}$), el efecto variedad es significativo (P-Value = 0,0000) (Tabla 2). Lo que indica que hay diferencias significativas de las variedades en el contenido de carotenoides totales.

De la misma forma, el efecto localidad muestra una diferencia significativa en el contenido de carotenoides totales entre ambas localidades (Tabla 2). Picassent es la localidad en la que las variedades tienen mayor contenido en carotenoides totales (B) (Tabla 4). La interacción entre estos dos factores no es significativa (Tabla 2), por lo tanto, sugiere que el efecto de la variedad x localidad (V x L) en el contenido de carotenoides totales no son significativamente dependientes.

Contenido en agua

Los resultados del análisis multifactorial (ANOVA) para el contenido de agua indican que el efecto de la variedad es altamente significativo (P-Value = 0,0000) (Tabla 2), lo que evidencia diferencias sustanciales en el contenido de agua entre las diferentes variedades. Asimismo, el efecto de la localidad también resulta significativo (P-Value = 0,0000) (Tabla 2), lo que sugiere que el contenido de agua en los frutos varía considerablemente según la localidad en la que se cultivan. Sin embargo, la interacción entre variedad y localidad no es significativa (P-Value = 0,3184) (Tabla 2), lo que indica que la combinación de estos dos factores no afecta de manera conjunta al contenido de agua. En general, las variedades cultivadas en la localidad de Meliana (B) presentan un mayor contenido de agua en comparación con las de Picassent (A) (Tabla 5) (Gráfica 7).

4.2 Análisis Descriptivo de Variedades Tradicionales

4.2.1 Rendimiento por planta y Peso Medio de Fruto

La escasez de agua y la salinidad representan problemas cruciales para muchas especies de cultivos en los países mediterráneos, donde los recursos hídricos son el principal factor limitante. En estas regiones, las cantidades limitadas de agua disponibles para los agricultores perjudican el crecimiento y el rendimiento de las plantas, los cuales dependen tanto de la cantidad como de la calidad del agua, y pueden variar según el genotipo de la planta (Fallik et al., 2019; Gurmani et al., 2018).

En comparación con la localidad de Meliana (34,75 T/Ha), Picassent presenta una media de rendimiento inferior (22,94 T/Ha) (Tabla 3), esta diferencia de 12 T/Ha puede ser debido a las condiciones de cultivo a las que se vieron expuestas las variedades de Picassent, siendo más exigentes que las condiciones de cultivo (debido al estrés hídrico) que en la localidad de Meliana.

La media del peso medio de fruto sigue siendo superior en Meliana con 105,26 g, mientras, en Picassent, la media desciende a los 80,02 g (Tabla 3). Nuevamente, podría verse debido a lo explicado anteriormente, siendo las condiciones de cultivo más exigentes en la localidad de Picassent.

Tabla 3. Comparativa de las variedades en Meliana y Picassent con un one-way ANOVA. Resultados del ANOVA multifactorial para el Rendimiento T/Ha y Peso medio de fruto (g) entre las variedades de Meliana y Picassent. Fuente: Elaboración propia

Variedad	Rendimiento por Planta (T/Ha)		Peso Medio de Fruto (g)	
	Meliana	Picassent	Meliana	Picassent
BGV-13004	29,92 ab	18,08 abc	132,22 cd	104,87 de
BGV-4322	36,75 abcd	17,08 ab	226,24 e	131,48 e
BGV-5030	30,67 ab	20,83 abcd	172,04 de	117,22 de
BGV-5083	37,50 abcd	21,83 abcd	172,62 de	130,74 e
BGV-5126	34,25 ab	17,92 abc	183,00 de	130,86 e
BGV-637	35,33 abcd	19,08 abcd	133,28 cd	108,52 de
Bierzo	20,92 a	11,50 a	129,57 cd	91,68 cd
Bola	27,92 ab	30,08 cde	31,22 ab	28,85 a
Chile Serrano	28,83 ab	30,58 de	4,43 a	9,28 a
Largo Reus	32,58 ab	26,58 bcde	144,43 d	111,54 de
Numex Big Jim	51,58 cd	30,25 cde	63,14 b	67,76 bc
Padrón	53,08 d	21,33 abcd	28,15 ab	19,18 a
Pasilla	29,92 ab	35,25 e	28,27 ab	26,58 a
Piquillo	31,33 ab	20,00 abcd	52,42 ab	33,03 ab
Topepo Rosso	41,08 bcd	24,08 bcde	77,90 bc	88,70 cd
Total	34,75 B	22,94 A	105,26 B	80,02 A

El orden está determinado de la letra "e" hacia la letra "a". valores medios dentro de la misma localidad con letras distintas indican diferencias significativas para LSD < 0.05. La letras mayúsculas determinan si hay diferencias significativas entre las medias de ambas Localidades (B>A).

Meliana

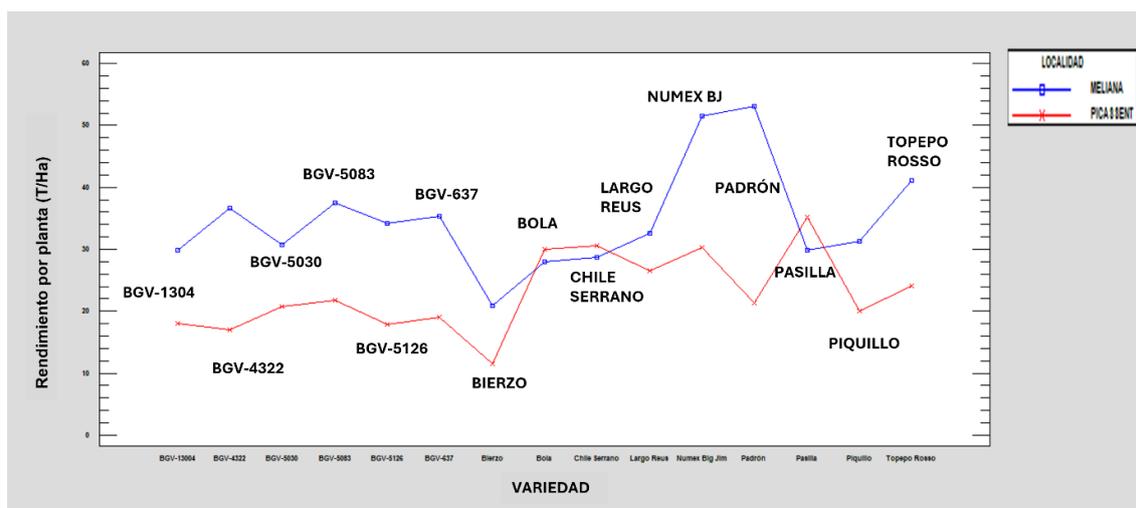
Respecto al rendimiento por planta (T/Ha), Padrón, es la variedad que mayor significancia presenta respecto a las otras variedades. El rendimiento por planta es de 53,08 (T/Ha) y tiene un nivel de significancia (d). Numex Big Jim, se encuentra por detrás de Padrón con un nivel de significancia (cd) y con una media de rendimiento por planta de 51,58 (T/Ha). Topepo Rosso tienen un rendimiento por planta de 41 (T/Ha) y comparte nivel de significancia con variedades como BGV-5083 y BGV-4322. Aunque estas presentan menos rendimiento por planta con una producción de 37,50 (T/Ha) y 36,75 (T/Ha) respectivamente (Tabla 3).

Como se menciona anteriormente, Meliana presenta una media de rendimiento significativamente superior a la de la localidad de Picassent, que es superada por 12 T/Ha. Como también se menciona, puede ser debido a las condiciones de cultivo que se vieron sometidas las variedades de Meliana, suministrando un aporte de agua mayor en varias fases del cultivo.

Para el peso medio de fruto (g), BGV-4322 muestra una media superior (226,24 g) al resto de plantas (Tabla 6). BGV-5126, BGV-5030 y BGV-5083 comparten nivel de significancia, aunque muestran una media de peso de fruto notablemente menor con 183 g, 172,04 g y 172,62 g respectivamente. El promedio de las variedades también es significativamente superior en Meliana (Tabla 3) (105,26 g) respecto a Picassent (80,02 g), como se menciona con anterioridad.

Picassent

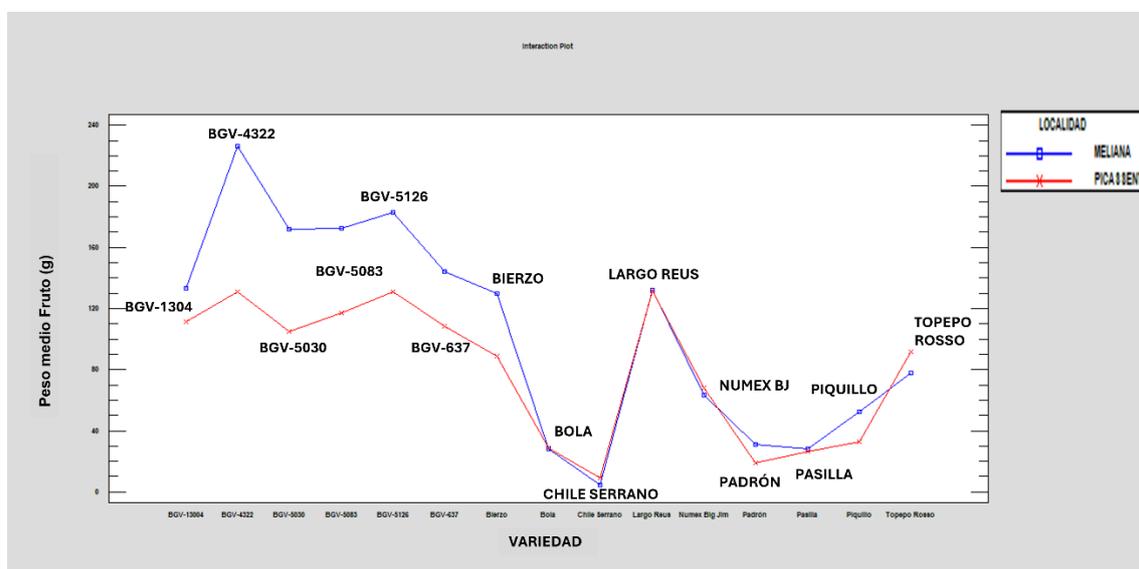
La variedad Pasilla es la que presenta una media de rendimiento por planta (T/Ha) significativamente mayor (E) al resto de variedades en la localidad de Picassent (Tabla 3). Su rendimiento es de 35,25 (T/Ha) y comparte nivel de significancia con variedades menos productivas como Chile Serrano (30,58 T/Ha) (de), Numex Big Jim y Bola (30,25 y 30,08 T/Ha) (cde) (Tabla 3). La variedad con menos rendimiento por planta, al igual que en Meliana, es Bierzo que presenta un rendimiento de 11,50 T/Ha.



Gráfica 1. Adaptación y representación de los resultados del análisis multifactorial (ANOVA) para el rendimiento por planta (T/Ha) en variedades tradicionales, comparando su comportamiento en las dos condiciones de cultivo. Fuente: Adaptación propia de los resultados obtenidos en el (ANOVA) mediante el programa StatGraphic19.

Respecto a la gráfica (Gráfica 1), se observa claramente la interacción de los factores. Se observan las diferencias significativas respecto a las variedades y las localidades evaluadas. Meliana destaca claramente en el rendimiento total (T/Ha), aunque variedades como Bola, Chile Serrano, y Pasilla presentan mejor rendimiento en la localidad de Picassent, lo que sugiere que están mejor adaptadas a condiciones de déficit hídrico y no necesitan tanta agua para desarrollar un buen rendimiento.

En estudios previos, confirman un efecto significativamente negativo por parte del estrés hídrico en el rendimiento y la calidad del fruto, independientemente de su origen genético (Ficiciyan, Loos, & Tschardtke, 2021; Alvino, Centritto, & Lorenzi., 1994). Se ha demostrado que el pimiento es especialmente vulnerable a condiciones de suministro hídrico limitado, debido a su amplia superficie foliar y elevada conductancia estomática. Estos factores aumentan la transpiración, lo que exacerba el impacto negativo del estrés hídrico en la planta (Ficiciyan., Loos., & Tschardtke, 2021). Según lo mencionado, podría estar en concordancia con nuestros resultados y se explicaría la diferencia significativa entre la localidad de Meliana respecto a la de Picassent. En comparación con otros estudios, nuestros resultados son inferiores. En el estudio de Pacheco, Verón & Cáceres, (2019), el rendimiento oscila entre 49,4 T/Ha y 126,1 T/Ha.



Gráfica 2. Adaptación y representación de los resultados del análisis multifactorial (ANOVA) para el Peso medio de Fruto (g) en variedades tradicionales, comparando su comportamiento en las dos condiciones de cultivo. Fuente: Adaptación propia de los resultados obtenidos en el (ANOVA) mediante el programa StatGraphic19.

Respecto al peso medio de fruto, BGV-4322, BGV-5083 y BGV-5126 presentan una media de peso de fruto significativamente al resto de variedades evaluadas (Gráfica 2) (Tabla 3). Respectivamente, el peso medio de fruto que presentan es de 131,48 (g) 130,74 (g) y 130,86 (g). Topepo Rosso y Numex Big Jim, son las únicas variedades que mejora el peso medio de fruto en la localidad de Picassent, respecto a la de Meliana (Tabla 3). Nuestros valores de peso medio oscilan entre 4,43 y 226,24 g. El valor más alto es inferior al reportado por Melgar et al., (2010) que fue de 289 g. No es representativo ya que trata de otro sistema de cultivo y variedades. Al igual que se reporta en el estudio de Moreno-Pérez et al., (2017), aunque se trata de la variedad Morrón en 3 densidades de poblaciones, las variedades BGV-4322 y BGV-5126 (Meliana) de nuestro estudio, tienen un peso medio de fruto de 226,24 y 183,00 g respectivamente. Superando la media de peso de fruto de la variedad morrón (180 g).

4.2.2 Ácido ascórbico mg/Kg (pf)

En el presente estudio, los frutos se recogieron en estado maduro ya que tiene un efecto significativo en el contenido de vitamina C (Rodríguez-Burruezo et al., 2009; Sánchez et al., 2015). Numerosos estudios avalan que el contenido en compuestos bioactivos de pimiento cultivado bajo condiciones de agricultura sostenible es superior al cultivado de manera convencional, especialmente el de vitamina C (Flores et al., 2007). En el estudio de Pfenndt et al., (2003), realizan una comparativa de los niveles de vitamina C entre múltiples hortalizas y frutas, descubriendo que el pimiento es uno de los alimentos con mayores niveles de este compuesto bioactivo con valores medios de 1440 mg/Kg para su estado maduro (Rojo).

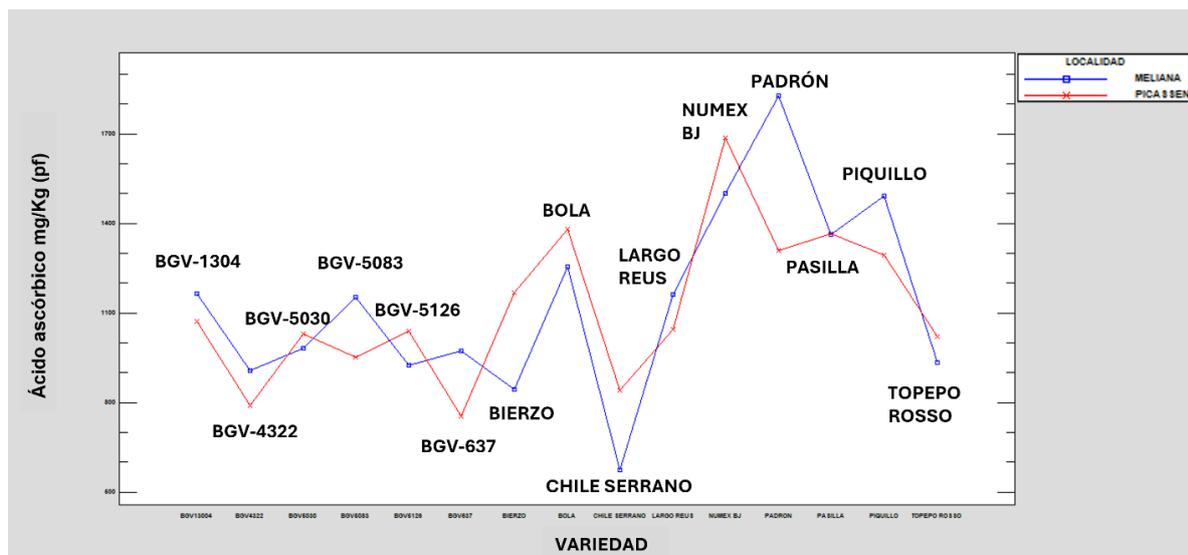
Tabla 4. Comparativa de las variedades en Meliana y Picassent con un one-way ANOVA. Resultados del ANOVA multifactorial para el contenido en Ácido Ascórbico mg/Kg (pf) entre las variedades de Meliana y Picassent. Fuente: Elaboración propia

VARIEDAD	Ácido ascórbico (mg/Kg pf)	
	Meliana	Picassent
	Media	Media
BGV13004	1284 bcd	1206 abcd
BGV4322	990 ab	874 a
BGV5030	1073 abc	1145 abcd
BGV5083	1241 abcd	1052 abc
BGV5126	1011 ab	1148 abcd
BGV637	1064 abc	834 a

BIERZO	915	ab	1288	abcd
BOLA	1431	bcd	1624	cde
CHILE SERRANO	675	a	999	ab
LARGO REUS	1279	abcd	1160	abcd
NUMEX BJ	1686	de	1935	e
PADRON	2076	e	1523	bcde
PASILLA	1630	cde	1676	de
PIQUILLO	1743	de	1511	bcde
TOPEPO ROSSO	1057	abc	1122	abcd
Promedio	1277	A	1273	A

El orden está determinado de la letra “e” hacia la letra “a”. valores medios dentro de la misma localidad con letras distintas indican diferencias significativas para LSD < 0.05. La letras mayúsculas determinan si hay diferencias significativas entre las medias de ambas Localidades (B>A). Fuente: Elaboración propia.

A pesar del no paralelismo entre las variedades de las 2 localidades (Gráfica 3) no hay diferencias significativas, como ya antes se ha mencionado. Esto puede ser debido a que visualmente parece haber mucha diferencia, pero, en realidad, no la hay (Tabla 4). Aunque el ANOVA no ha detectado interacciones, algunas variedades sí que tienen un comportamiento distinto. La variedad que mejor contenido muestra es la de Padrón en Meliana (1829 mg/Kg (pf)), seguido de Numex Big Jim de la localidad de Picassent (1688 mg/Kg (pf)). La variedad que más consistencia muestra en el contenido de ácido ascórbico es Pasilla (1364 mg/kg en Meliana y 1367 mg/kg en Picassent). La variedad que menos contenido muestra de Ác. Ascórbico es la variedad Chile Serrano en Meliana (574 mg/kg) y BGV-637 en Picassent (755 mg/kg) (Tabla 4).



Gráfica 3. Adaptación y representación de los resultados obtenidos mediante el análisis multifactorial (ANOVA) para el contenido en ácido ascórbico mg/kg pf, comparando su comportamiento en las dos condiciones de cultivo. Fuente: Adaptación propia de los resultados obtenidos en el (ANOVA) mediante el programa StatGraphic19.

Los resultados son inferiores al estudio de Sánchez et al, (2015), en el cual analiza el contenido de Vitamina C de variedades tradicionales de la región de Murcia. En Particular, la variedad Ñora llegó a alcanzar los 4460 mg/Kg. Sin embargo, son superiores a los resultados que proporciona (Fernández-León et al. (2002). En su estudio pone a prueba la capacidad antioxidante y contenido de vitamina C, comparando variedades tradicionales cultivadas bajo condiciones de agricultura ecológica y convencional. La variedad que más contenido presenta (1375,5 mg/Kg) es una variedad tipo morrón procedente del banco de germoplasma del COMAV.

4.2.3 Análisis del contenido en Carotenoides ($\mu\text{g/g}$)

Tabla 5. Resultados para el contenido en carotenoides rojos, Amarillo-Naranja y totales de las variedades tradicionales de pimiento. También, se encuentran las diferencias significativas entre ambientes (Localidad), analizadas en el ANOVA multifactorial, para el factor localidad. Fuente: Elaboración propia.

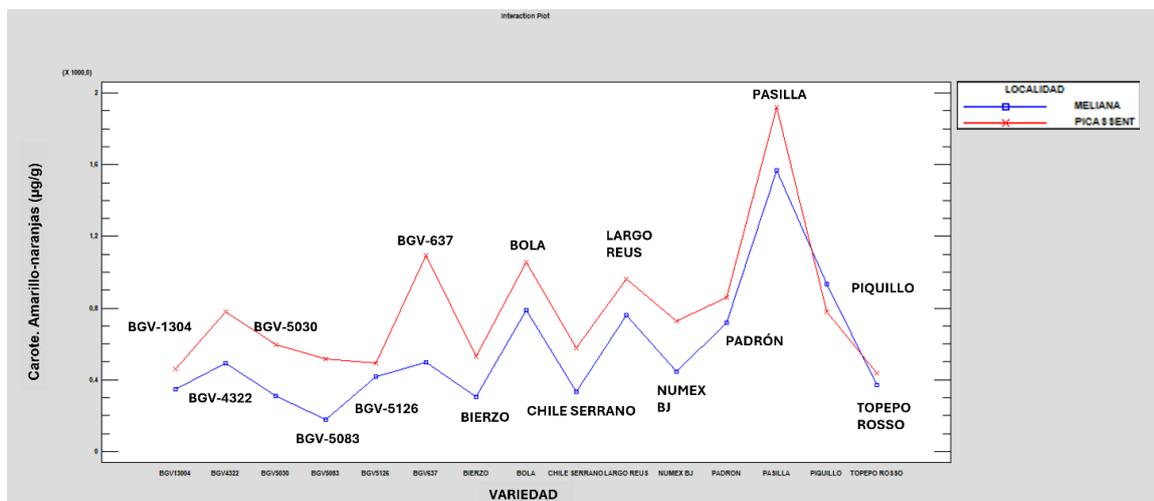
VARIEDAD	Carotenoides Ama-Nar ($\mu\text{g/g}$)		Carotenoides Rojos ($\mu\text{g/g}$)		Carotenoides Totales ($\mu\text{g/g}$)	
	Meliana	Picassent	Meliana	Picassent	Meliana	Picassent
	Media	Media	Media	Media	Media	Media
BGV13004	347 ab	459 ab	1044 bcd	1297 abc	1391 ab	1756 abcd
BGV4322	490 bc	779 bcde	963 abcd	1521 bcd	1454 bc	2300 bcde
BGV5030	308 ab	595 abc	740 ab	1051 ab	1048 ab	1645 abc
BGV5083	177 a	514 ab	536 a	1138 ab	713 a	1652 abc
BGV5126	418 ab	494 ab	893 abc	1089 ab	1311 ab	1583 ab
BGV637	496 bc	1096 e	1095 bcd	1893 cde	1591 bc	2989 e
BIERZO	306 ab	529 ab	819 abc	1554 bcd	1124 ab	2082 abcde
BOLA	791 d	1054 de	1730 e	1973 de	2520 de	3028 e
CHILE SERRANO	333 ab	577 abc	914 abc	1004 ab	1248 ab	1581 ab
LARGO REUS	759 cd	961 de	1083 bcd	1597 bcd	1842 bcd	2558 cde
NUMEX BJ	446 abc	728 abcd	1213 cd	1965 de	1659 bc	2692 de
PADRON	717 cd	860 cde	1430 de	1003 ab	2147 cde	1864 abcd
PASILLA	1567 e	1921 f	2267 f	2286 e	3834 f	4207 f
PIQUILLO	933 d	781 bcde	1888 ef	1385 abcd	2820 e	2166 abcde
TOPEPO ROSSO	372 ab	437 A	852 abc	873 a	1223 ab	1310 a
Promedio	560 A	786 B	1166 A	1442 B	1726 A	2228 B

El orden está determinado de la letra "e" hacia la letra "a". valores medios dentro de la misma localidad con letras distintas indican diferencias significativas para $\text{LSD} < 0.05$. La letras mayúsculas determinan si hay diferencias significativas entre las medias de ambas Localidades ($B > A$). Fuente: Elaboración propia.

Carotenoides Amarillo- Naranjas

Las variedades de la localidad de Picassent muestran un mayor contenido de carotenoides Amarillo-Naranjas (Gráfica 4). La variedad que muestra valores más altos en ambas localidades es Pasilla, en Picassent (1921,18 $\mu\text{g/g}$) y en Meliana (1527,67 $\mu\text{g/g}$) (Tabla 5). BGV-637 (Picassent) es la segunda variedad que más carotenoides amarillo-naranja contiene 1096,98 ($\mu\text{g/g}$). Sin embargo, en Meliana los resultados no son consistentes, ya que solo contiene 496,37 ($\mu\text{g/g}$) (Tabla 4).

Bola, Largo Reus, Padrón y Piquillo muestra un contenido consistente en ambas localidades (Grafica 4), compartiendo nivel de significancia en ambas localidades (Tabla 5). BGV-5083 es la variedad que muestra menos contenido de carotenoides amarillo-naranja (177,47 ($\mu\text{g/g}$)). Topepo Rosso muestra un contenido consistente muy bajo en ambas localidades, 371,47 ($\mu\text{g/g}$) en Meliana y 437,06 ($\mu\text{g/g}$), en Picassent. BGV-1304, de la misma forma, tiene un contenido bajo pero consistente en Meliana y Picassent, 346,739 ($\mu\text{g/g}$) y 458,851 ($\mu\text{g/g}$) respectivamente.

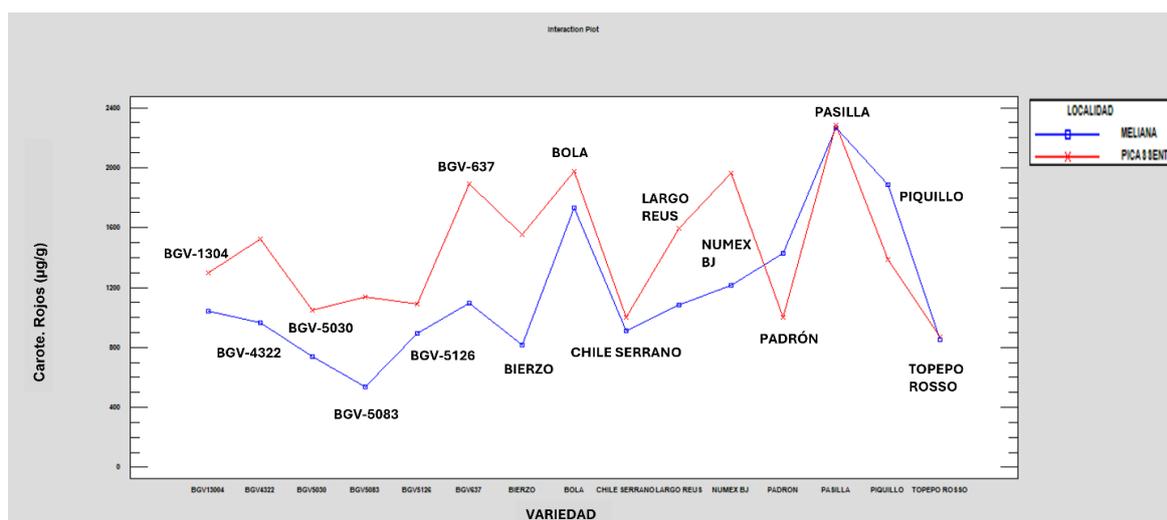


Gráfica 4. Adaptación y representación de los resultados obtenidos mediante el análisis multifactorial (ANOVA) para el contenido en carotenoides Amarillo-Naranjas $\mu\text{g/g}$, comparando su comportamiento en las dos condiciones de cultivo. Fuente: Adaptación propia de los resultados obtenidos en el (ANOVA) mediante el programa StatGraphic 19

Carotenoides Rojos

Nuevamente, Picassent, produce variedades con mayor contenido en carotenoides rojos. Pasilla es la variedad que más produce en los dos ambientes, siendo el contenido de carotenoides rojos estable y consistente en ambas localidades, además, esto nos indica su buena adaptabilidad a las condiciones climatológicas y de cultivo de las 2 localidades (Tabla 5) (Grafica 5). En Picassent presenta un contenido de carotenoides rojos de 2286 ($\mu\text{g/g}$) y, en Meliana 2266,74 ($\mu\text{g/g}$). BGV-5083 (Meliana) es la variedad que menor contenido de carotenoides rojos se observa (535,76 ($\mu\text{g/g}$)).

Variedades como “Piquillo” (Meliana), Numex Big Jim, Bola y BGV-637 en Picassent, son variedades que responden bien al contenido en carotenoides rojos (Tabla 5) (Grafica 5). Variedades como BGV-5030 o “Bierzo” ambas en Meliana su contenido es bajo en comparación al resto. Topepo Rosso también presenta un contenido en carotenoides bajo pero consistente en ambas localidades.



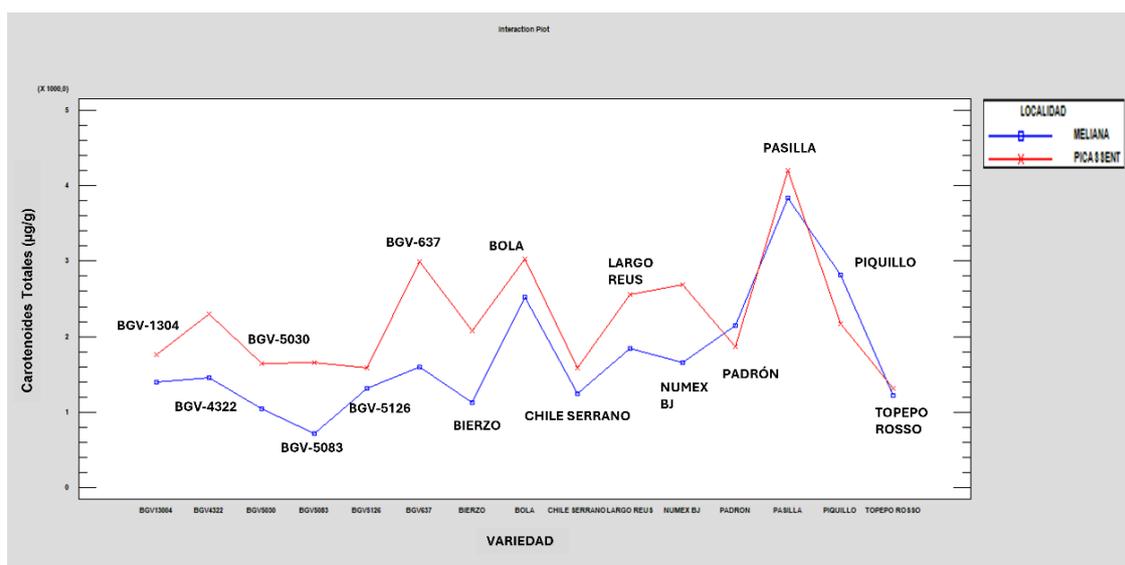
Gráfica 5. Adaptación y representación de los resultados obtenidos mediante el análisis multifactorial (ANOVA) para el contenido en carotenoides Rojos $\mu\text{g/g}$, comparando su comportamiento en las dos condiciones de cultivo. Fuente: Adaptación propia de los resultados obtenidos en el (ANOVA) mediante el programa StatGraphic 19

El no paralelismo de la gráfica de ANOVA (Grafica 5) de carotenoides rojos confirma la interacción significativa entre el factor “Variedad” y el factor “Localidad”, siendo estos dependientes en la acumulación de carotenoides rojos.

Carotenoides Totales

Pasilla es la variedad que presenta mayor contenido en carotenoides totales, tanto en Meliana 3384,01 ($\mu\text{g/g}$), como en Picassent 4207,18 ($\mu\text{g/g}$). Comparten nivel de significancia y guardan diferencias significativas respecto al resto de variedades. Bola y BGV-637 destacan en la localidad de Picassent (Grafica 6) (Tabla 5). En el caso de Bola, en la localidad de Meliana es la tercera variedad que tiene mayor contenido en carotenoides totales, por detrás, de Pasilla y Piquillo. Piquillo responde bien respecto a las otras variedades de Meliana, ya que es la segunda variedad que mayor contenido en carotenoides totales presenta (Tabla 5). El cierto grado de paralelismo que se muestra en la gráfica 6, confirma que no hay interacción significativa entre el factor localidad y Variedad. El contenido de carotenoides totales no depende de la variedad y la localidad en su conjunto.

Según el estudio de Choi, Kim y Han (2023), en el cual se comparó el contenido de compuestos bioactivos en pimientos de diferentes colores, se encontró que el pimiento rojo (variedad Melot) fue el que presentó la mayor cantidad de carotenoides totales, con 2370,4 $\mu\text{g/g}$. Aunque las variedades estudiadas en nuestro experimento no son las mismas y no llega a ser representativo, nuestros resultados muestran que algunas variedades, como BGV-637, Numex BJ, y Bola en Meliana, así como Piquillo en Picassent y Pasilla en ambas localidades, presentan una mayor acumulación de carotenoides totales (Tabla 5).



Gráfica 6. Adaptación y representación de los resultados obtenidos mediante el análisis multifactorial (ANOVA) para el contenido en carotenoides totales $\mu\text{g/g}$, comparando su comportamiento en las dos condiciones de cultivo. Fuente: Adaptación propia de los resultados obtenidos en el (ANOVA) mediante el programa StatGraphic19

Según el estudio de Lee et al., (2005), observaron como el contenido individual de carotenoides depende significativamente de las condiciones de cultivo, sin embargo, no analizaron las interacciones Genotipo por Ambiente (G x E). La intensidad de luz es otro factor que influye significativamente en la acumulación de carotenoides (Keyhaninejad et al., 2012). Además, se ha reportado que una menor cantidad de agua, una mayor intensidad de luz, temperaturas más altas y una menor latitud influyen en la acumulación de carotenoides (Meckelmann et al., 2016). Esto puede estar en concordancia con los resultados obtenidos en el presente estudio, ya que, las condiciones de cultivo de la localidad de Picassent fueron más exigentes respecto al riego que las expuestas en la localidad de Meliana. Por la localización y la ubicación de ambas fincas, aparentemente, Picassent tenía una influencia más directa por parte de la intensidad de luz que Meliana. Además, presenta menor latitud que Meliana, aunque por cercanía, seguramente, no llegue a ser significativo. Esto podría explicar las diferencias significativas observadas entre ambas localidades.

4.2.4 Contenido de Agua

La estabilidad de los atributos de calidad del fruto a través de diferentes entornos ha sido reconocida como un factor importante en la selección de cultivos para áreas con variabilidad ambiental (Tripodi, Lo Scalzo & Ficcadenti., 2020). Investigaciones han mostrado que las interacciones entre el genotipo y el ambiente pueden influir significativamente en la composición química y la calidad del fruto, lo que es crucial para mantener la estabilidad del rendimiento bajo condiciones variables (Lahbib et al., 2023). En el estudio de Murcia-Asensi et al., (2024) se reporta que, en comparación con el estado inmaduro de los frutos, en los frutos completamente maduros el contenido de agua desciende considerablemente.

Tabla 6. Comparativa de las variedades en Meliana y Picassent con un one-way ANOVA. Resultados del ANOVA multifactorial para el contenido en agua entre las variedades de Meliana y Picassent. Fuente: Elaboración propia

VARIEDAD	Contenido en Agua	
	Meliana	Picassent
	Media	Media
BGV13004	0,91 efg	0,89 de
BGV4322	0,92 fg	0,90 ef
BGV5030	0,92 fg	0,90 ef
BGV5083	0,93 g	0,91 ef
BGV5126	0,92 fg	0,91 ef

BGV637	0,92	fg	0,90	ef
BIERZO	0,93	g	0,91	f
BOLA	0,88	bcd	0,85	b
CHILE SERRANO	0,85	ab	0,84	b
LARGO REUS	0,91	defg	0,90	ef
NUMEX BJ	0,89	def	0,88	cd
PADRON	0,88	cde	0,86	bc
PASILLA	0,84	a	0,82	a
PIQUILLO	0,86	abc	0,86	b
TOPEPO ROSSO	0,88	cde	0,91	f
Promedio	0,89	b	0,88	A

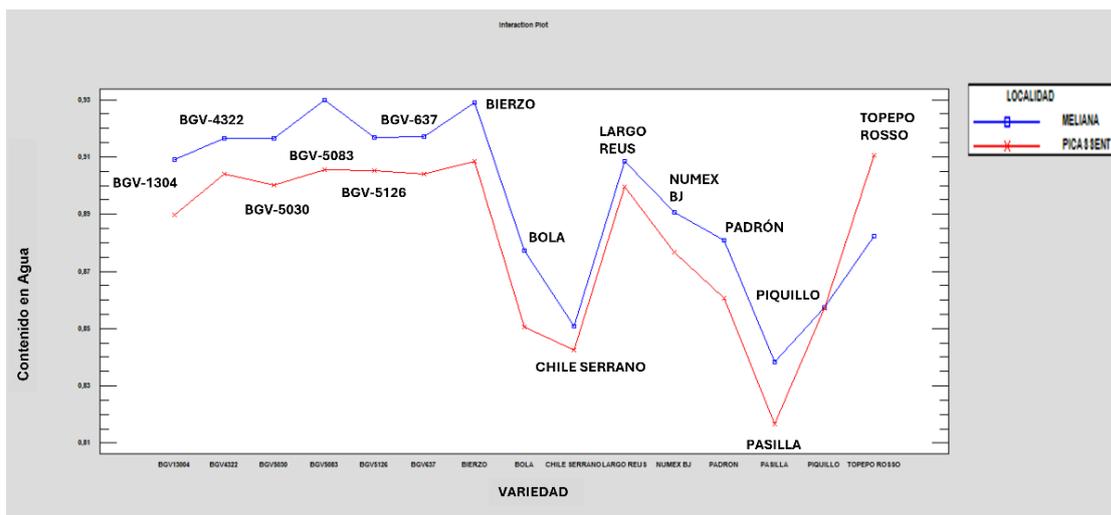
El orden está determinado de la letra “e” hacia la letra “a”. valores medios dentro de la misma localidad con letras distintas indican diferencias significativas para LSD < 0.05. La letras mayúsculas determinan si hay diferencias significativas entre las medias de ambas Localidades (B>A). Fuente: Elaboración propia.

La media de las localidades para Meliana y Picassent es 0,89 y 0,88, respectivamente (Tabla 6). En comparación con lo que se reporta en el estudio de Murcia-Asensi et al., (2024), no se alejan mucho los resultados ya que obtuvieron un promedio de 90 - 91%, además, afirma que la maduración aumenta el contenido en materia seca y exagera las diferencias entre genotipos. Esto explicaría las diferencias significativas que observamos entre variedades.

La variedad BGV-5083 (Meliana) presenta mayor contenido de agua (0,929794) (Tabla 5) entre las dos localidades (Gráfica 7). Bierzo (Meliana) no muestra diferencias significativas respecto a BGV-5083 (Meliana) (0,928874). Seguidamente y compartiendo nivel de significancia, la variedad BGV.4322 (0,909135), BGV-5030 (0,916607), BGV-5126 (0,916679) (Tabla 6).

En Picassent, las variedades que mayor contenido en agua muestran son Topepo Rosso (0,910565) y Bierzo (0,908584) compartiendo nivel de significancia. Además, se encuentran cerca (0,91) del contenido en agua de las variedades que mejores resultados muestran (0,93). Largo Reus y BGV- 637 son las variedades que siguen a las anteriores mencionados en mayor contenido de agua (Gráfica 7), mostrando diferencias significativas con estas (Tabla 6). El comportamiento consistente del contenido de agua en la variedad Piquillo en ambas localidades, aunque no muestra un contenido de agua alto, indica una alta plasticidad fenotípica, lo cual es esencial para su adaptabilidad en diversas condiciones de cultivo.

De acuerdo con Murcia-Asensi et al., (2024), en promedio, las condiciones de estrés causaron cambios significativos pero muy leves y diferentes en el contenido de agua.



Gráfica 7. Resultados del Análisis multifactorial de la varianza (ANOVA). Compara el contenido de Contenido en agua entre la localidad de Meliana y la localidad de Picassent). Fuente: Adaptación de StatGraphic.

Estudios previos han demostrado que las diferencias en el contenido de agua entre variedades de pimientos están fuertemente influenciadas por factores genéticos, así como por las condiciones ambientales específicas de cultivo (Tripodi, Lo Scalzo Ficcadenti., 2020; Murcia-Asensi et al., 2024). El genotipo es un factor determinante en la acumulación de agua y otros compuestos bioactivos en frutos de pimiento, lo que repercute en su rendimiento y calidad postcosecha (Tripodi et al., 2018).

4.3 Material Heterogéneo

Respecto al rendimiento total (g), la media general es de 1135,7 g, la media del top 30 planta se sitúa en 1817,42. Mientras, que el rendimiento máximo registrado es de 2580 g y el mínimo 200 g (Tabla 7). En comparación con el estudio de Gungor & Yildirim, (2013), nuestros resultados en general son superiores (Tabla 7), ya que en mencionado estudio el máximo rendimiento es de 1080 g. Para el peso medio de fruto (g) la media es de 75,05 y la media del top 30 es de 104,83 g (Tabla 7). El valor máximo que se ha alcanzado en el peso medio de fruto es de 120 g y el mínimo de 29,44 g (Tabla 7). La media general para los SST resultó ser 8,75 °Brix. Mientras que para el top 30, fue de 10,15 °Brix (Tabla 7). En comparación con Rathore & Bahadur (2024) nuestra media del top 30 es superior (10,15 °Brix) al fruto que más SST presentó (9,03 °Brix). También, son más altos que los del experimento de Guerra, Magdaleno & Casquero, (2011), que se sitúan entre 8,5 y 9,1 °Brix.

Tabla 7. Incluye la media general (P1-P219), la media de las mejores 30 plantas y, tanto el valor máximo como el mínimo de los parámetros evaluados. Fuente: Elaboración propia.

	Rendimiento Total (g/pl)	Peso medio fruto (g)	SST (°Brix)
Media	1135,7	75,05	8,75
Media (Top 30)	1817,42	104,83	10,15
Máximo	2580 (P199)	120 (P46)	11,3 (P152)
Mínimo	200 (P42)	29,44 (P25)	6,13 (P81)

Tanto el rendimiento total como el peso medio de fruto esta medido en gramos. SST significa sólidos solubles totales

Las 30 plantas que mejores resultados mostraron para los parámetros evaluados se muestran a continuación (Tabla 8). El rendimiento total (g/pl) para el top 30 fluctúa entre los 1590 g y 2580 g. Para el peso medio de fruto, los resultados se encuentran entre 97,92 g y 120 g por fruto (Tabla 8). Respecto a los SST, hay 17 plantas que superan los 10 °Brix, las 13 restantes llegan desde 9,72 a 10 °Brix (Tabla 8).

Tabla 8. Las 30 plantas que mejores resultados mostraron para los parámetros que se describen anteriormente. Fuente: Elaboración propia

	Rendimiento total (g/pl)	Peso medio de fruto (g)	SST (°Brix)
P199	2580	P146 120,00	P152 11,30
P11	2280	P77 118,33	P160 11,22
P217	2280	P55 117,50	P185 11,20
P195	2140	P50 114,10	P37 11,03
P189	2110	P103 113,75	P114 11,02
P38	2060	P204 112,50	P166 10,63
P16	2050	P14 112,22	P201 10,55
P164	2021	P4 112,00	P155 10,48
P133	1880	P52 110,00	P127 10,42
P151	1870	P57 110,00	P176 10,30
P216	1860	P193 108,75	P130 10,27
P201	1840	P91 107,78	P188 10,20
P211	1840	P64 107,50	P195 10,20
P194	1810	P177 105,00	P124 10,18
P44	1810	P197 105,00	P186 10,17
P191	1796	P87 105,00	P3 10,13
P3	1780	P150 103,33	P194 10,08
P101	1750	P109 102,50	P125 10,00
P50	1742	P81 102,50	P133 9,98
P153	1740	P110 102,22	P89 9,93
P54	1730	P122 102,08	P144 9,90
P127	1690	P132 101,67	P123 9,87
P207	1680	P205 100,83	P163 9,83

P108	1660	P101	100,00	P52	9,80
P121	1660	P63	100,00	P134	9,77
P139	1660	P85	100,00	P212	9,77
P34	1650	P59	99,58	P102	9,75
P96	1614	P216	98,50	P34	9,75
P33	1610	P111	98,33	P53	9,73
P68	1590	P145	97,92	P175	9,72

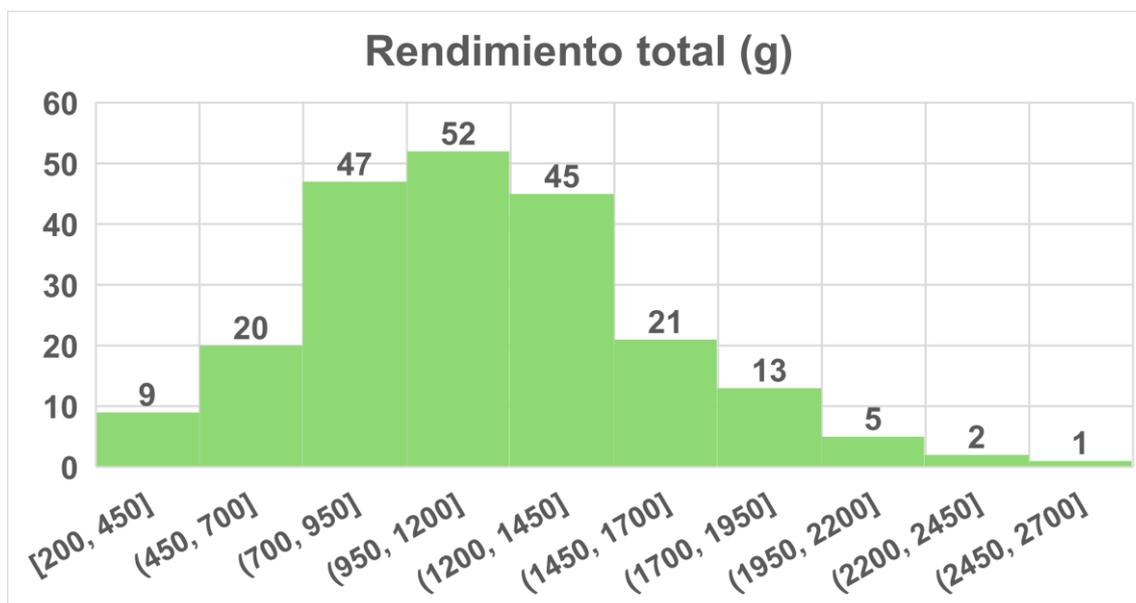
SST se refiere a Sólidos Solubles Totales (°Brix). Tanto el rendimiento como el Peso Medio de Fruto están determinados en gramos (g)

4.3.1 Rendimiento

Para el análisis de rendimiento del material heterogéneo se ha elaborado un histograma para visualizar los resultados de rendimiento total (g) y del rendimiento de peso medio de fruto (g).

Rendimiento total (g)

La distribución parece tener una forma aproximadamente simétrica, pero con una ligera cola hacia la derecha (sesgo positivo). Esto indica que hay algunos casos en los que el rendimiento es superior al rango promedio, pero no son muy comunes (Gráfica 8).



Gráfica 8. Resultados del rendimiento total (g) de la colección de material heterogéneo. Fuente: Elaboración propia.

La mayoría de los datos se concentran en el rango de 950 a 1450 gramos, con los picos más altos en los intervalos de 950 a 1200 gramos (52 ocurrencias), 700 a 950 (47 ocurrencias) y 1200 - 1450 gramos (45 ocurrencias) (Gráfica 8).

Hay una disminución notable en la frecuencia fuera del rango de 950 a 1700 gramos, lo que indica que los rendimientos extremos (tanto bajos como altos) son raros (Gráfica 8).

Solo una pequeña cantidad de datos caen en los extremos de la distribución, con 1 ocurrencia en el intervalo más alto (2450 a 2700 gramos) y 9 ocurrencias en el intervalo más bajo (200 a 450 gramos) (Gráfica 8).

Esto sugiere que la mayoría de las muestras o productos tienen un rendimiento dentro de estos intervalos, lo cual podría considerarse como el rango típico. Por lo tanto, presenta una distribución normal, dentro de lo esperado.

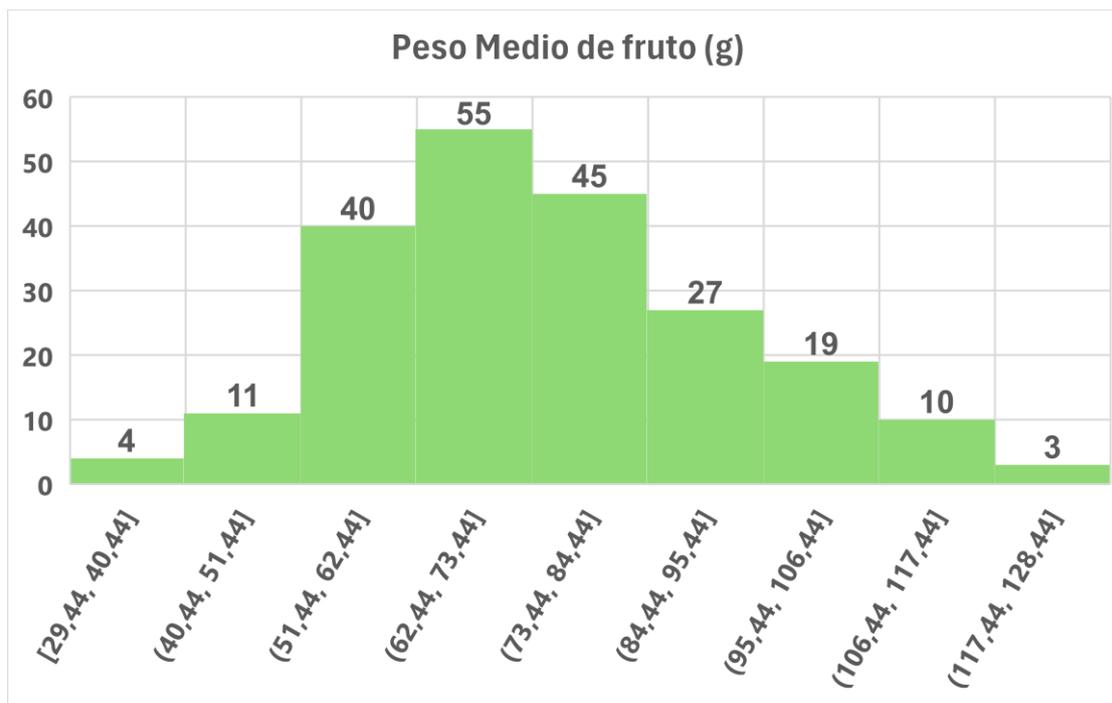
En relación con el rendimiento total (g), podríamos afirmar que la producción es bastante consistente. Por lo tanto, podemos considerar que en general el rendimiento total del material heterogéneo es constante y dentro de lo normal.

4.3.2 peso medio de fruto (g)

De la misma forma que para el rendimiento total, se ha elaborado un histograma para visualizar los resultados del peso medio de fruto (g). La gráfica 9 muestra una distribución que es mayormente simétrica alrededor del pico más alto.

El histograma, indica que la producción media de fruto es bastante consistente, logrando la mayor parte de los frutos en el rango de peso deseado.

Los pesos medios extremos (muy bajos o altos) podrían ser el resultado de variaciones en factores como la maduración, el tamaño de los frutos o de las condiciones de cultivo.



Gráfica 9. Resultados del peso medio por fruto (g) de la colección de material heterogéneo. Fuente: Elaboración propia.

La mayor parte de los datos están concentrados en los intervalos de 62,44 a 95,44 gramos, con picos en los intervalos de 62,44 a 73,44 gramos (55 ocurrencias) y 73,44 a 84,44 gramos (45 ocurrencias) (Gráfica 9). Esto sugiere que la mayoría de los frutos en esta muestra tienen un peso medio que cae dentro de este rango, lo que podría considerarse el peso típico o ideal de los frutos.

Fuera del rango de 62,44 a 106,44 gramos, las ocurrencias disminuyen significativamente. Hay menos frutos en los extremos del rango de peso, con solo 3 ocurrencias en el intervalo más alto (117,44 a 128,44 gramos) y 4 en el más bajo (29,44 a 40,44 gramos) (Gráfica 9).

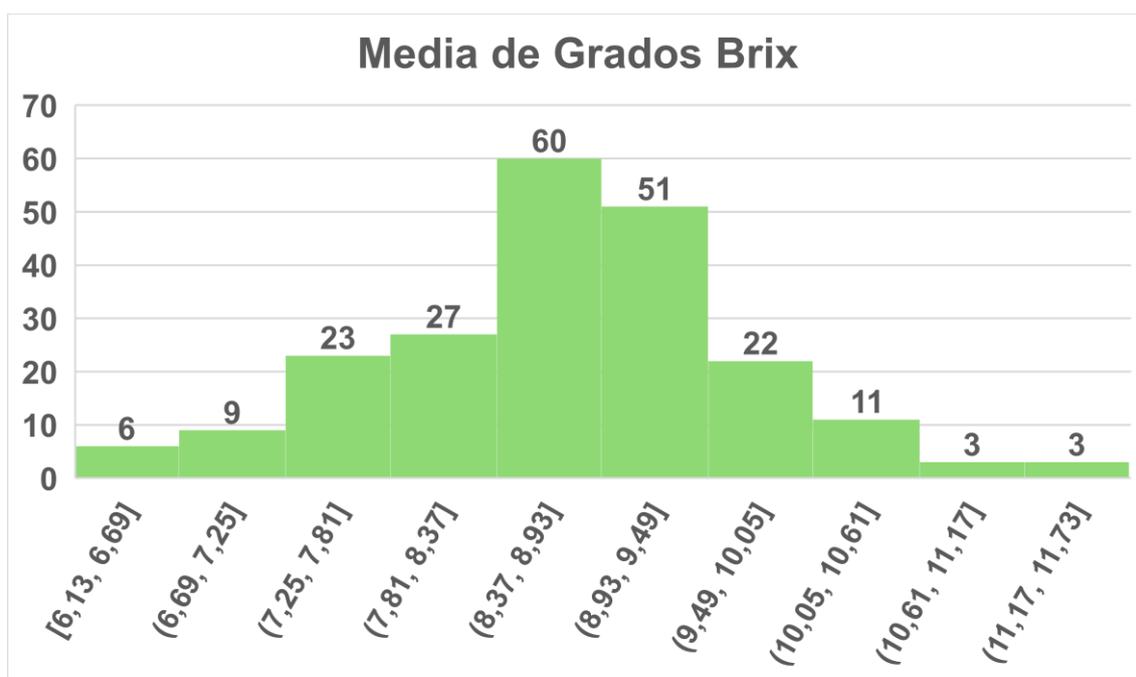
A su vez, la distribución parece tener una ligera cola hacia la derecha (sesgo positivo), lo que indica la presencia de algunos frutos con un peso medio más alto de lo normal (Gráfica 9). Esto sugiere que los pesos medios extremos son menos comunes, y que la mayoría de los frutos tienen un peso medio dentro del rango central. Por lo tanto, sigue una distribución normal, dentro de lo esperado.

Los valores obtenidos en este trabajo son inferiores a los reportados por Enciso, Ríos & Ortiz, (2009), que fueron entre 89,79 y 141,77 g. Realizaron la evaluación de híbridos obtenidos a través de variedades adaptadas en Paraguay. No son representativos al tratarse de otro ambiente y otras variedades.

4.3.3 Sólidos solubles Totales (SST)

Los sólidos solubles totales (SST) están compuestos principalmente por azúcares totales y ácidos orgánicos, entre otros constituyentes (Tadesse et al. 2002). Estos componentes son evaluados frecuentemente en el análisis de frutas y verduras debido a su importancia en la evaluación sensorial global. Además, pueden utilizarse junto con el cambio de color para determinar el grado de madurez de los pimientos (Chouikhi et al. 2023).

Este análisis es útil para evaluar la consistencia en la concentración de azúcar en el conjunto de muestras del material heterogéneo. Se ha realizado este histograma para visualizar los resultados del conjunto de muestras que se recolectaron del material heterogéneo (Gráfica 10).



Gráfica 10. Resultados para el contenido de sólidos solubles totales (SST) ($^{\circ}$ Brix) de la colección de material heterogéneo. Fuente: Elaboración propia.

La distribución es ligeramente asimétrica, con una ligera cola hacia la derecha, lo que indica un pequeño número de muestras con un contenido de azúcar más alto (10,05-11,73) de lo habitual (sesgo positivo) (Gráfica 10).

La mayoría de los datos están concentrados en los intervalos de 8.37 a 9.49 grados Brix, con picos en los intervalos de 8.93 a 9.49 (60 ocurrencias) y 8.37 a 8.93 (51 ocurrencias) (Gráfica 10). Esto sugiere que la mayor parte de las muestras o soluciones

tienen un contenido de azúcar que cae dentro de este rango, lo cual podría ser considerado el rango típico o ideal de la solución medida. La concentración central en el rango de 8.37 a 9.49 grados Brix (Gráfica 10) indica que la mayoría de los valores están relativamente agrupados en el rango central, lo que indica consistencia en el contenido de azúcares por parte del material heterogéneo y, por lo tanto, una distribución normal, que es lo esperado.

Fuera del rango de 7.81 a 10.57 °Brix, las ocurrencias disminuyen significativamente, con solo algunas muestras que caen en los extremos (valores bajos y altos) (Gráfica 10).

En relación con otros estudios, aunque no es representativo al no tratarse de las mismas variedades y climas, nuestros resultados son superiores al realizado por Ntansi et al., (2024) en el que evalúan la calidad del fruto de variedades tradicionales en condiciones de estrés salino. Sus resultados están en un rango de (3,63-7,57). Mientras que los nuestros fluctúan entre (6,13-11,73) (Gráfica 10).

4.3.4 Correlaciones entre parámetros evaluados en el material heterogéneo

En relación con las correlaciones entre los mencionados parámetros, el rendimiento-SST presenta una correlación positiva, aunque, no significativa (P-Value = 0,072) (Tabla 9). Esto sugiere que a medida que el rendimiento aumenta los SST (°Brix), también lo hacen. En cambio, la correlación Peso medio de Fruto y SST (°Brix), presenta una correlación negativa significativa (P-Value = 0,006) (Tabla 9), esto indica que a medida que aumenta el peso medio de fruto los sólidos solubles descienden. La correlación peso medio de fruto y rendimiento, presenta una correlación positiva significativa (P-Value = 0,009) (Tabla 9). Sugiere que a medida que aumenta el peso medio de fruto también aumenta el rendimiento total, lo que tiene bastante sentido.

Tabla 9. Correlaciones entre los parámetros evaluados en el material heterogéneo. Fuente: Elaboración propia.

Fuente	Rendimiento		SST	
	Corre.	P-Value	Corre.	P-Value
Peso Medio Fruto	0,175	0,009**	-0,185	0,006**
Rendimiento			0,122	0,072

*, **, *** y ns indican significativo para $P < 0,05$, $** < 0,01$, $*** < 0,001$ o no significativo ($P > 0,05$). SS se refiere a los Sólidos Solubles Totales. Corre. Se refiere al coeficiente de correlación.

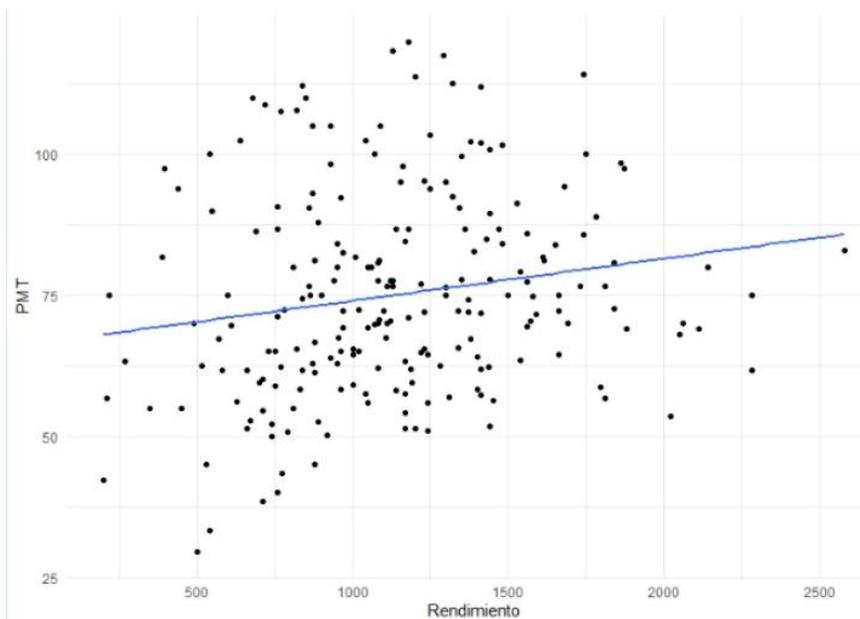
Peso medio de Fruto (PMT) - Rendimiento

Los puntos en la gráfica están bastante dispersos, lo que indica una variabilidad considerable en los datos. La dispersión de los puntos alrededor de la línea de regresión indica que la correlación no es muy fuerte. Si los puntos estuvieran más cerca de la línea, la correlación sería más fuerte (Gráfica 11).

La pendiente de la línea es positiva, lo que indica que existe una correlación positiva entre el PMT y el Rendimiento (Tabla 8), aunque parece ser una correlación débil. Esto significa que, en general, a medida que aumenta el rendimiento, el PMT tiende a aumentar, pero no de manera muy pronunciada.

La correlación positiva sugiere que hay una tendencia a que un mayor rendimiento esté asociado con un mayor peso medio de fruto, pero la debilidad de la correlación sugiere que este no es el único factor en juego y que otros factores también podrían estar influyendo en el peso medio del fruto.

La línea azul en la gráfica representa la línea de regresión. PMT se refiere a Peso medio de Fruto (g).



Gráfica 11. Correlación entre el Peso Medios de Fruto (g) y el Rendimiento (g). Fuente. Elaboración Propia.

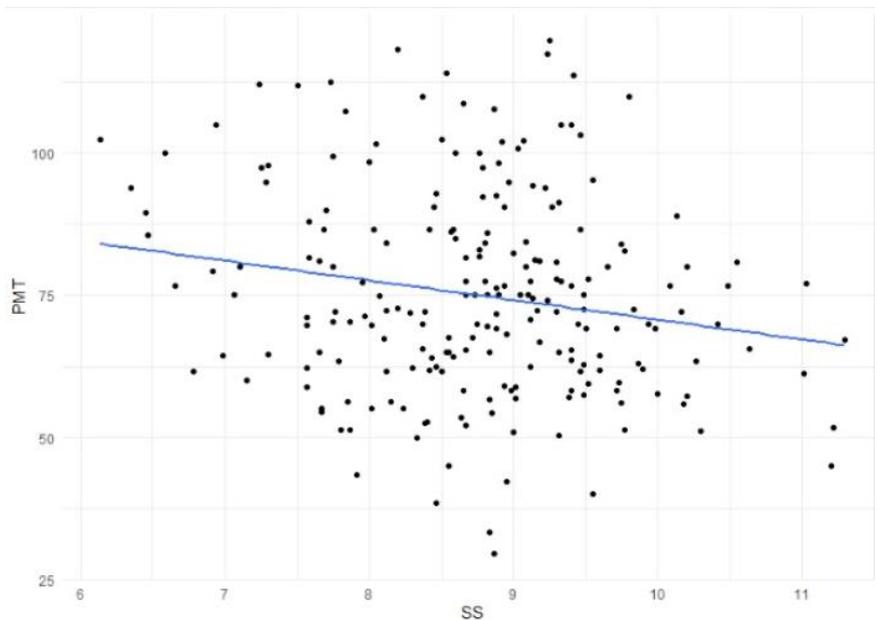
Peso Medio fruto – Sólidos Solubles Totales (SST)

Los puntos en esta gráfica (12), también están bastante dispersos, lo que indica una variabilidad considerable en la relación entre SS y PMT. La dispersión de los puntos alrededor de la línea de regresión sugiere que la correlación es débil.

La línea de regresión muestra una pendiente negativa, lo que indica una correlación negativa entre SS y PMT. Esto significa que, en general, a medida que PMT aumenta, los SS tienden a disminuir (Gráfica 12).

La correlación negativa sugiere que un aumento en SS está asociado con una ligera disminución en el peso medio del fruto. Sin embargo, dado que la correlación es débil, es probable que otros factores también estén influyendo en el PMT, y SS.

La línea azul en la gráfica representa la línea de regresión. PMT se refiere a Peso medio de Fruto. SS se refiere a Sólidos Solubles Totales.



Gráfica 12. Correlación entre el Peso Medio de Fruto (PMT) y los Sólidos Solubles Totales (SS). Fuente. Elaboración Propia.

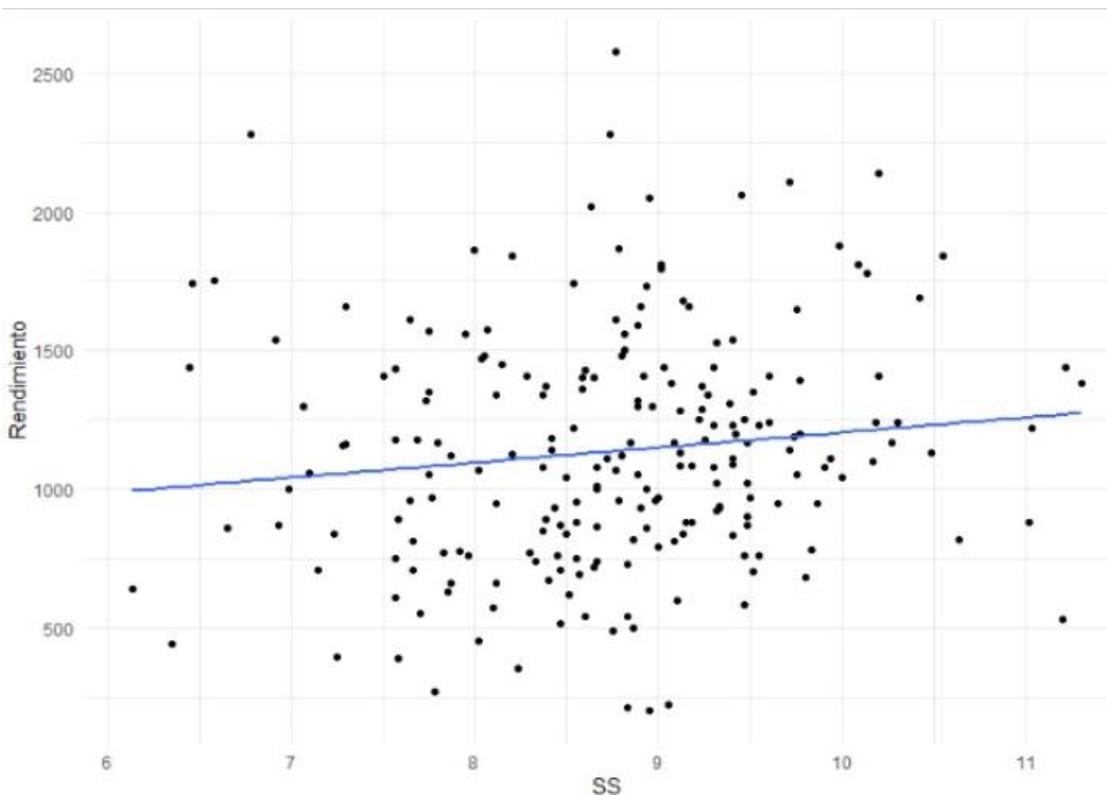
Rendimiento – SS

Similar a la gráfica anterior, respecto a los puntos, están bastante dispersos. La dispersión indica que no todos los datos siguen una relación lineal clara, lo que sugiere que hay variabilidad en la relación entre SS y el rendimiento.

La línea de regresión tiene una pendiente positiva leve, lo que indica una correlación positiva entre SS y el rendimiento. Esto sugiere que, en general, a medida que el rendimiento aumenta, los SS también tiende a aumentar (Gráfica 13).

La dispersión de los puntos alrededor de la línea de regresión muestra que la correlación es muy débil ya que, los puntos están bastante alejados de la línea de regresión.

La línea azul en la gráfica representa la línea de regresión. SS se refiere a Sólidos Solubles Totales



Gráfica 13. Correlación entre el Rendimiento (g) y los Sólidos Solubles Totales (SS). Fuente. Elaboración Propia

5. Conclusiones

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en el presente estudio, se puede concluir que:

- En referencia a las variedades tradicionales, el factor “Variedad” es fundamental para acrecentar todos los caracteres estudiados en el presente trabajo, como: rendimiento por planta, peso medio de fruto, ácido ascórbico, carotenoides (amarillo-naranjas, rojos y totales) y contenido en agua. La elección del genotipo es fundamental para optimizar tanto las características agronómicas como las analíticas del cultivo.
- El factor “Localidad” tiene una incidencia notable en el rendimiento, peso medio de fruto, carotenoides (amarillo-naranjas, rojos y totales), así como, el contenido en agua. El ambiente es un factor importante a tener en cuenta en la elección de variedades resilientes y con buena adaptabilidad a condiciones de agricultura ecológica y de bajos insumos.
- La interacción de los factores (V x L) es significativo, para el rendimiento, peso medio de fruto y carotenoides rojos. Se concluye, que los factores no actúan únicamente de manera independiente, sino que la combinación de estos es crucial para mejorar el rendimiento, el peso medio de fruto y el contenido de carotenoides rojos.
- Respecto al material heterogéneo, mostró una considerable variabilidad en características agronómicas y analíticas tales como: Rendimiento total, peso medio de fruto y sólidos solubles totales (SST). Esta diversidad proporciona una base genética importante para la selección de individuos con características óptimas y útiles para emplearlas en futuros programas de mejoramiento orientados a la obtención de variedades más resilientes y adaptadas a condiciones de bajos insumos, como el estrés hídrico.
- Se han encontrado correlaciones positivas para Rendimiento – (PMT) y rendimiento – SS. También, se ha encontrado una correlación negativa en referencia al PMT – SS.

- Adoptabilidad y sostenibilidad, tanto las variedades tradicionales como el material heterogéneo evaluados en este estudio, en general, destacan por su adaptabilidad a sistemas de producción ecológica y de bajos insumos, en el caso de Picassent. Este aspecto es clave en el contexto de la agricultura ecológica, donde se busca reducir el uso de insumos externos y promover cultivos que puedan prosperar con prácticas de bajo impacto ambiental.

6. Bibliografía

1. A Omolo, M. (2014). Antimicrobial Properties of Chili Peppers. *Journal of Infectious Diseases and Therapy*, 02(04).
2. Albrecht, E., Zhang, D., Deslattes Mays, A., Saftner, R. A., & Stommel, J. R. (2012). *Genetic diversity in Capsicum baccatum is significantly influenced by its ecogeographical distribution*. <http://www.biomedcentral.com/1471-2156/13/68>
3. Almekinders, C. J. M., & Elings, A. (2001). Collaboration of farmers and breeders: Participatory crop improvement in perspective. *Euphytica*, 122(3), 425-438.
4. Altieri, M. A., & Nicholls, C. I. (2004). Una base agroecológica para el diseño de sistemas diversificados de cultivo en el Trópico.
5. Álvarez, F., & Pino, M. T. (2018). Aspectos generales del manejo agronómico del pimiento en Chile. *Pimientos para la industria de alimentos e ingredientes*, 41-58.
6. Álvarez-Parrilla, E., De La Rosa, L. A., & González-Aguilar, G. A. (20). *Fruit and vegetable phytochemicals: Chemistry, nutritional value and stability*. John Wiley & Sons.
7. Alvino, A., Centritto, M., & Lorenzi, F. D. (1994). Photosynthesis response of sunlit and shade pepper (*Capsicum annuum*) leaves at different positions in the canopy under two water regimes. *Functional Plant Biology*, 21(3), 377-391.
8. Barchenger, D. W., Naresh, P., & Kumar, S. (2018). Resistance to multiple viruses in a diverse collection of chili pepper (*Capsicum* spp.) from India. *Plant Disease*, 102(12), 2356-2361.
9. Bernstein, P. S., Li, B., Vachali, P. P., Gorusupudi, A., Shyam, R., Henriksen, B. S., & Nolan, J. M. (2016). Lutein, zeaxanthin, and meso-zeaxanthin: The basic and clinical science underlying carotenoid-based nutritional interventions against ocular disease. *Progress in Retinal and Eye Research*, 50, 34-66.
10. Bohn, T. (2019). Carotenoids and markers of oxidative stress in human observational studies and intervention trials: implications for chronic diseases. *Antioxidants*, 8 (6), 179.
11. Bosland, P. W., & Votava, E. J. (2012). *Peppers: Vegetable and Spice Capsicums*. CABI, doi:10.1079/9781845938253.0001, (1–12), CABI, Introduction.
12. Brush, S. B. (2008). *Farmers' Bounty: Locating Crop Diversity in the Contemporary World*. Yale University Press.

13. Camacho, E., Aymara, A., Perez, Y., Rodriguez, S., & Abreu, E. (2014). Uso de fertilizantes orgánicos y químicos en el cultivo del pimiento (*Capsicum annuum* L.). *Sucre: CD de Monografías*.
14. Carr, A. C., & Maggini, S. (2017). Vitamin C and immune function. *Nutrients*, 9 (11), 1211.
15. García, C., Barfuss, M. H. J., Sehr, E. M., Barboza, G. E., Samuel, R., Moscone, E. A., & Ehrendorfer, F. (2016). Phylogenetic relationships, diversification and expansion of chili peppers (*Capsicum*, Solanaceae). *Annals of Botany*, 118(1), 35–51. <https://doi.org/10.1093/aob/mcw079>
16. Casañas, F., Simó, J., Casals, J., & Prohens, J. (2017). Toward an evolved concept of landrace. *Frontiers in Plant Science*, 8, 145.
17. Ceccarelli, S. (2015). Efficiency of plant breeding. *Crop Science*, 55(1), 87-97.
18. Chaves, M. M., Flexas, J., & Pinheiro, C. (2011). Photosynthesis under drought and salt stress: Regulation mechanisms from whole plant to cell. *Annals of Botany*, 103(4), 551-560.
19. Chebrolu, K. K., Jayaprakasha, G. K., Yoo, K. S., Jifon, J. L. & Patil, B. S. An improved sample preparation method for quantification of ascorbic acid and dehydroascorbic acid by HPLC. *LWT* 47, 443–449 (2012).
20. Choi, M. H., Kim, M. H., & Han, Y. S. (2023). Physicochemical properties and antioxidant activity of colored peppers (*Capsicum annuum* L.). *Food Science and Biotechnology*, 32(2), 209-219.
21. Chouikhi, M., Ilahy, R., Tlili, I., & R'him, T. (2023). Exploiting important horticultural and quality traits of some traditional pepper genotypes. *Journal of Postharvest Technology*, 11(4), 12-20.
22. Cichewicz, R. H., & Thorpe, P. A. (1996). The antimicrobial properties of chile peppers (*Capsicum* species) and their uses in Mayan medicine. In *Journal of Ethnopharmacology* (Vol. 52).
23. Csilléry, G. (2006). Pepper taxonomy and the botanical description of the species. In *Acta Agronomica Hungarica* (Vol. 54, Issue 2, pp. 151–166). <https://doi.org/10.1556/AAgr.54.2006.2.5>
24. D'Amour, C. B., Reitsma, F., Baiocchi, G., Barthel, S., Güneralp, B., Erb, K. H., Haberl, H., Creutzig, F., & Seto, K. C. (2017). Future urban land expansion and implications for global croplands. In *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* (Vol. 114, Issue 34, pp. 8939–8944). National Academy of Sciences. <https://doi.org/10.1073/pnas.1606036114>

25. Demmig-Adams, B., Cohu, C. M., Muller, O., & Adams, W. W. (2012). Modulation of photosynthetic energy conversion efficiency in nature: from seconds to seasons. *Photosynthesis Research*, 121 (2-3), 115-126.
26. Devi, B. S. R., Kim, Y. J., Selvi, S. K., Gayathri, S., Altanzul, K., Parvin, S., ... & Yang, D. C. (2012). Influence of potassium nitrate on antioxidant level and secondary metabolite genes under cold stress in *Panax ginseng*. *Russian journal of plant physiology*, 59, 318-325.
27. Di Fabio, A., Lozoya-Gloria, E. and dos Santos-Olivera, F. (1999) 'producción y manejo de cultivo'.
28. Dias, G. B., Gomes, V. M., Moraes, T. M. S., Zottich, U. P., Rabelo, G. R., Carvalho, A. O., Moulin, M., Gonçalves, L. S. A., Rodrigues, R., & Da Cunha, M. (2012). Characterization of *Capsicum* species using anatomical and molecular data. *Genetics and Molecular Research*, 12(4), 6488–6501. <https://doi.org/10.4238/2013.February.28.29>
29. Döring, T. F., Knapp, S., Kovacs, G., Murphy, K., & Wolfe, M. S. (2011). Evolutionary plant breeding in cereals—into a new era. *Sustainability*, 3(10), 1944-1971.
30. Dumas, Y., Dadomo, M., Di Lucca, G., & Grolier, P. (2003). Effects of environmental factors and agricultural techniques on antioxidant content of tomatoes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83 (5), 369-382.
31. Dwivedi, S. L., Sahrawat, K. L., Upadhyaya, H. D., & Ortiz, R. (2013). Food, nutrition and agrobiodiversity under global climate change. *Advances in Agronomy*, 141, 113-169.
32. ECPGR. (2017). ECPGR concept for on-farm conservation and management of plant genetic resources for food and agriculture. *European Cooperative Programme for Plant Genetic Resources*.
33. European Parliament. (2023). *La política agrícola común (PAC) y el Tratado*. EuropeanParliament.<https://www.europarl.europa.eu/factsheets/es/sheet/103/la-politica-agricola-comun-pac-y-el-tratado>
34. Eggersdorfer, M., & Wyss, A. (2018). Carotenoids in human nutrition and health. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 652, 18-26.
35. Escalona Contreras, V. H., Correa San Martín, J., & González Olivares, A. (2019). Manejo postcosecha de tomates y pimientos frescos y de IV Gama.
36. FAO. (2010). *The Second Report on the State of the World's Plant Genetic Resources for Food and Agriculture*. FAO.

37. Fallik, E., Alkalai-Tuvia, S., Chalupowicz, D., Zaaroor-Presman, M., Offenbach, R., Cohen, S., & Tripler, E. (2019). How water quality and quantity affect pepper yield and postharvest quality. *Horticulturae*, 5(1), 4.
38. Faúndez, A., Faúndez, L., & Flores, R. (2017). Apuntes de botánica aplicada.
39. Fernández-León, A. M., Lozano, M., Ayuso, M. C., & Bernalte, M. J. (2002). Actividad antioxidante y vitamina C en variedades tradicionales de pimiento bajo condiciones de cultivo ecológico.
40. Fita, A., Rodríguez-Burruezo, A., Boscaiu, M., Prohens, J., & Vicente, O. (2015). Breeding and domesticating crops adapted to drought and salinity: a new paradigm for increasing food production. *Frontiers in Plant Science*, 6, 978.
41. Flores, P., López, A., Fenoll, J., Hellín, P., Davó, M. M., Herrera, E., & Ruiz, M (2007). Contenido de compuestos antioxidantes en dos variedades de pimiento cultivadas bajo diferentes sistemas de producción
42. Garay, C. E., Arévalos, R. R., & Ortiz, W. (2009). Características agronómicas de híbridos y variedades de pimiento. *Investigación agraria*, 11(1), 5-9
43. García Romero, M. C. (2008). Efectos de los diferentes sistemas de cultivo (producción integrada, cultivo ecológico y cultivo sin suelo) sobre la composición antioxidante del pimiento fresco cultivado bajo invernadero.
44. Gepts, P. (2006). Plant genetic resources conservation and utilization: The accomplishments and future of a societal insurance policy. *Crop Science*, 46(5), 2278-2292.
45. Giovannucci, E. (2002). A review of epidemiologic studies of tomatoes, lycopene, and prostate cancer. *Experimental Biology and Medicine*, 227 (10), 852-859.
46. Gómez-Maqueo, A., Escobedo-Avellaneda, Z., & Welti-Chanes, J. (2020). Phenolic compounds in mesoamerican fruits—Characterization, health potential and processing with innovative technologies. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(21), 8357.
47. Guerra, M., Magdaleno, R., & Casquero, P. A. (2011). Effect of site and storage conditions on quality of industrial fresh pepper. *Scientia Horticulturae*, 130(1), 141-145.
48. Gurmani, A. R., Khan, S. U., Ali, A., Rubab, T., Schwinghamer, T., Jilani, G., ... & Zhang, J. (2018). Salicylic acid and kinetin mediated stimulation of salt tolerance in cucumber (*Cucumis sativus* L.) genotypes varying in salinity tolerance. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 59, 461-471.
49. Guzmán, I., & Bosland, P. W. (2017). Sensory properties of chile pepper heat – and its importance to food quality and cultural preference. *Appetite*, 117, 186–190. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2017.06.026>

50. Hajjar, R., & Hodgkin, T. (2007). The use of wild relatives in crop improvement: A survey of developments over the last 20 years. *Euphytica*, 156(1-2), 1-13.
51. Hornero-Méndez, D. & Mínguez-Mosquera, M. I. Rapid spectrophotometric determination of red and yellow isochromic carotenoid fractions in paprika and red pepper oleoresins. *J Agric Food Chem* 49, 3584–3588 (2001).
52. Howard, L. R., Smith, R. T., & Wagner, A. B. (2000). Changes in phytochemical and antioxidant activity of selected pepper cultivars (*Capsicum* species) as influenced by maturity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(5), 1713-1720.
53. Howard, L. R., Talcott, S. T., Brenes, C. H., & Villalon, B. (2014). Changes in phytochemical and antioxidant activity of selected pepper cultivars (*Capsicum* species) as influenced by maturity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48 (5), 1713-1720.
54. Ibiza, V. P., Blanca, J., Cañizares, J., & Nuez, F. (2012). Taxonomy and genetic diversity of domesticated *Capsicum* species in the Andean region. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 59(6), 1077–1088. <https://doi.org/10.1007/s10722-011-9744-z>
55. Ibrahim, M. H., Jaafar, H. Z. E., Karimi, E., & Ghasemzadeh, A. (2012). Primary, secondary metabolites, photosynthetic capacity and antioxidant activity of the Malaysian Herb Kacip Fatimah (*Labisia pumila* Benth) exposed to potassium fertilization under greenhouse conditions. *International Journal of Molecular Sciences*, 13(11), 15321–15342. <https://doi.org/10.3390/ijms131115321>
56. IFOAM. (2018). *The World of Organic Agriculture: Statistics and Emerging Trends*. Research Institute of Organic Agriculture (FiBL), Frick, and IFOAM – Organics International.
57. IPCC. (2019). *Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems*.
58. J, López Marín., L, Angosto Soto. J., & González, A. (2017). *El cultivo de pimientos en invernadero y al aire libre. El caso del Campo de Cartagena* <https://agris.fao.org/search/en/providers/122225/records/6473b05396fdec8b71b5a186>
59. Jha, T. B., & Bhowmick, B. K. (2021). Conservation of floral, fruit and chromosomal diversity: a review on diploid and polyploid *Capsicum annuum* complex in India. In *Molecular Biology Reports* (Vol. 48, Issue 7, pp. 5587–5605). Springer Science and Business Media B.V. <https://doi.org/10.1007/s11033-021-06355-4>

60. Jha, T. B., Saha, P. S., Nath, S., Das, A., & Jha, S. (2017). Morphological and cytogenetical characterization of 'Dalle Khursani': a polyploid cultivated Capsicum of India. *Scientia horticulturae*, 215, 80-90.
61. Jiménez Pérez, M. (2021). Recuperación de ecotipos de pimiento blanco (*C. annum* L.) en base a su calidad nutricional y adaptación a cultivo ecológico en el territorio de Villena.
62. Jin, L., Jin, N., Wang, S., Meng, X., Xie, Y., Li, Z., ... & Yu, J. (2023). Comparing the morphological characteristics and nutritional composition of 23 pepper (*Capsicum annum* L.) varieties. *European Food Research and Technology*, 249(4), 963-974.
63. José M. Palma, Francisca Sevilla, Ana Jiménez, Luis A. del Río, Francisco J. Corpas, Paz Álvarez de Morales, Daymi M. Camejo, Physiology of pepper fruit and the metabolism of antioxidants: chloroplasts, mitochondria and peroxisomes, *Annals of Botany*, Volume 116, Issue 4, September 2015, Pages 627–636, <https://doi.org/10.1093/aob/mcv121>
64. Keyhaninejad, N., Richins, R. D., & O'Connell, M. A. (2012). Carotenoid content in field-grown versus greenhouse-grown peppers: Different responses in leaf and fruit. *HortScience*, 47(7), 852-855.
65. Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma*, 123(1-2), 1-22.
66. Lane, D. J., Richardson, D. R. (2013). The active role of vitamin C in mammalian iron metabolism: much more than just enhanced iron absorption. *Free Radical Biology and Medicine*, 65, 1174-1186.
67. Lao, M. T. and Jiménez, S. (2002) 'Los suelos enarenados en el sureste español', *Vida Rural*.
68. Lahbib, K., Bnejdi, F., Pandino, G., Lombardo, S., El-Gazzah, M., El-Bok, S., & Dabbou, S. (2023). Changes in yield-related traits, phytochemical composition, and antioxidant activity of pepper (*Capsicum annum*) depending on its variety, fruit position, and ripening stage. *Foods*, 12(21), 3948.
69. Lavandera, O. F., & Checa, A. P. (1981). Almería: la técnica del "enarenado" transforma un desierto. *Revista de Estudios Agrosociales*, (115), 31-70.
70. Lee, J. J., Crosby, K. M., Pike, L. M., Yoo, K. S., & Leskovar, D. I. (2005). Impact of genetic and environmental variation on development of flavonoids and carotenoids in pepper (*Capsicum* spp.). *Scientia Horticulturae*, 106(3), 341-352.

71. Lee, S. K., & Kader, A. A. (2000). Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest biology and technology*, 20(3), 207-220.
72. Lester, G. E., Jifon, J. L., & Makus, D. J. (2010). Impact of potassium nutrition on postharvest fruit quality: Melon (*Cucumis melo* L) case study. *Plant and soil*, 335, 117-131.
73. Lightbourn, G. J., Griesbach, R. J., Novotny, J. A., Clevidence, B. A., Rao, D. D., & Stommel, J. R. (2008). Effects of anthocyanin and carotenoid combinations on foliage and immature fruit color of *Capsicum annuum* L. *Journal of Heredity*, 99 (2), 105-111.
74. López, A., & Sánchez, F. J. (2017). Adaptation to climate change: A case study of Spanish agriculture. *Environmental Science & Policy*, 75, 46-56.
75. López-Marín, J., González, A., Pérez-Alfocea, F., Egea-Gilabert, C., & Fernández, J. A. (2013). Grafting is an efficient alternative to shading screens to alleviate thermal stress in greenhouse-grown sweet pepper. *Scientia Horticulturae*, 149, 39–46. <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2012.02.034>
76. Lozada, D. N., Bosland, P. W., Barchenger, D. W., Haghshenas-Jaryani, M., Sanogo, S., & Walker, S. (2022). Chile pepper (*Capsicum*) breeding and improvement in the “multi-omics” era. *Frontiers in Plant Science*, 13, 879182.
77. Maldonado Ochoa, E. E., & Herrera Calderon, B. A. (2024). Efecto de los microorganismos eficientes, en el cultivo de sandía (*Citrullus lanatus*), bajo acolchado plástico.
78. Marín, A., Ferreres, F., Tomás-Barberán, F. A., & Gil, M. I. (2004). Characterization and quantitation of antioxidant constituents of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52 (12), 3861-3869.
79. Martínez-Ispizua, E., Martínez-Cuenca, M. R., Marsal, J. I., Cerdá, J. J., Díez, M. J., Soler, S., ... & Calatayud, Á. (2020). Caracterización nutricional de variedades tradicionales valencianas de pimiento (*Capsicum annuum* L.). *Agrícola Vergel*, (428), 209-215.
80. Martínez-Ispizua, E., Martínez-Cuenca, M. R., Marsal, J. I., Díez, M. J., Soler, S., Valcárcel, J. V., & Calatayud, Á. (2021). Bioactive compounds and antioxidant capacity of valencian pepper landraces. *Molecules*, 26(4), 1031.
81. Meckelmann, S. W., Riegel, D. W., Van Zonneveld, M., Ríos, L., Peña, K., Mueller-Seitz, E., & Petz, M. (2015). Capsaicinoids, flavonoids, tocopherols, antioxidant capacity and color attributes in 23 native Peruvian chili peppers

- (Capsicum spp.) grown in three different locations. *European Food Research and Technology*, 240, 273-283.
82. Mendes, A., Bachiega, P., Calegari, M. A., & Borsato, A. V. (2016). Postharvest quality of peppers grown from conventional and organic production systems. *Scientia Agricola*, 73(1), 67-73.
83. Méndez, V. E., Bacon, C. M., & Cohen, R. (2013). Agroecology as a transdisciplinary, participatory, and action-oriented approach. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 37(1), 3-18.
84. Mercer, K. L., & Perales, H. R. (2010). Evolutionary response of landraces to climate change in centers of crop diversity. *Evolutionary Applications*, 3(5-6), 480-493.
85. Mohamed, M. A., Ahmed, M. S. M., & Ali, B. A. A. (2023). Sustainable Agricultural Techniques for Pepper (*Capsicum annuum* L.) Production under Greenhouse Conditions. *Journal of Plant Production*, 14(3), 155-162.
86. Mongkolporn, O., & Taylor, P. W. J. (2011). Capsicum. In *Wild Crop Relatives: Genomic and Breeding Resources* (pp. 43–57). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-20450-0_4
87. Moscone, E. A., Scaldaferrro, M. A., Grabielle, M., Cecchini, N. M., García, Y. S., Jarret, R., Daviña, J. R., Ducasse, D. A., Barboza, G. E., & Ehrendorfer, F. (2007). *The Evolution of Chili Peppers (Capsicum-Solanaceae): a Cytogenetic Perspective** (Vol. 745).
88. Murcia Asensi, C., Fita, A., de Luis-Margarit, A., Guijarro-Real, C., Raigón Jiménez, M., Blanca-Giménez, V., ... & Rodríguez Burruezo, A. (2024). Grafting in Capsicum peppers as a strategy to mitigate the effects of climate change on yield and quality factors. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 52(1).
89. Murphy, K. M., Lammer, D., Lyon, S. R., & Jones, S. S. (2017). Breeding for organic and low-input farming systems: An evolutionary–participatory breeding method for inbred cereal grains. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 20(1), 48-55.
90. Naidu, K. A. (2003). Vitamin C in human health and disease is still a mystery? An overview. *Nutrition Journal*, 2, 7.
91. Nisar, N., Li, L., Lu, S., Khin, N. C., & Pogson, B. J. (2015). Carotenoid metabolism in plants. *Molecular plant*, 8(1), 68-82.
92. Olatunji, T. L., & Afolayan, A. J. (2020). Comparison of nutritional, antioxidant vitamins and capsaicin contents in *Capsicum annuum* and *C. frutescens*. *International Journal of Vegetable Science*, 26(2), 190-207.

93. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2022.). Países por producto. FAOSTAT. Recuperado el 2 de septiembre de 2024, de https://www.fao.org/faostat/es/#rankings/countries_by_commodity.
94. Ortega Frías, E. A. (2024). *Importancia de micronutrientes en el cultivo de pimiento (Capsicum annum)* (Bachelor's thesis, BABAHOYO: UTB, 2024).
95. Paran, I., & van der Knaap, E. (2007). Genetic and molecular regulation of fruit and plant domestication traits in tomato and pepper. *Journal of Experimental Botany*, 58(14), 3841-3852.
96. Pacheco, R. M., Verón, R., & Cáceres, S. (2019). Efecto del raleo de flores y estado de madurez de cosecha sobre el rendimiento y calidad de fruto de pimiento. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo*, 51(1), 19-28.
97. Pereira-Dias, L., Vilanova, S., Fita, A., Prohens, J., & Rodríguez-Burruezo, A. (2019). Genetic diversity, population structure, and relationships in a collection of pepper (*Capsicum* spp.) landraces from the Spanish centre of diversity revealed by genotyping-by-sequencing (GBS). *Horticulture research*, 6.
98. Pfendt, L. B., Vukašinović, V. L., Blagojević, N. Z., & Radojević, M. P. (2003). Second order derivative spectrophotometric method for determination of vitamin C content in fruits, vegetables and fruit juices. *European Food Research and Technology*, 217, 269-272.
99. Preciado-Rangel, P., Andrade-Sifuentes, A., Sánchez-Chávez, E., Salas-Pérez, L., Fortis-Hernandez, M., Rueda-Puente, E. O., & García-Hernández, J. L. (2019). Influencia del potasio en el contenido nutracéutico y de antioxidantes en pimiento serrano (*capsicum annum l.*). *agrobiencia*, 53(4), 581-591.
100. Prohens, J., Gramazio, P., Plazas, M., Dempewolf, H., Kilian, B., Díez, M. J., ... & Vilanova, S. (2017). Introgressiomics: a new approach for using crop wild relatives in breeding for adaptation to climate change. *Euphytica*, 213, 1-19.
101. Raggi, L., Pacicco, L. C., Caproni, L., Álvarez-Muñiz, C., Annamaa, K., Barata, A. M., Prohens, J., ... & Negri, V. (2022). Analysis of landrace cultivation in Europe: A means to support in situ conservation of crop diversity. *Biological conservation*, 267, 109460.
102. Rathore, R., & Bahadur, V. (2024). Assessment of capsicum (*Capsicum annum*) varietal performance in natural ventilation polyhouse settings. *International Journal of Environment and Climate Change*, 14(2), 128-134.
103. Reganold, J. P., & Wachter, J. M. (2016). Organic agriculture in the twenty-first century. In *Nature Plants* (Vol. 2, Issue 2). Nature Research. <https://doi.org/10.1038/NPLANTS.2015.221>

104. Reglamento (CE) nº 834/2007 del Consejo, de 28 de junio de 2007, sobre producción y etiquetado de los productos ecológicos y por el que se deroga el Reglamento (CEE) no 2092/91', Diario Oficial de la Unión Europea, 20, pp. 1–23.
105. Reglamento (CEE) nº 2092/91 del Consejo, de 24 de junio de 1991, sobre la producción agrícola ecológica y su indicación en los productos agrarios y alimenticios, 1991, pp. 115.
106. Reglamento (UE) 2018/848 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de mayo de 2018, sobre producción ecológica y etiquetado de los productos ecológicos y por el que se deroga el Reglamento (CE) n.o 834/2007 del Consejo.', 2018, pp. 1–92.
107. Reséndiz-Melgar, R. C., Moreno-Pérez, E. D. C., Castillo, S. D., Rodríguez-Pérez, J. E., & Peña-Lomelí, A. (2010). Variedades de pimiento morrón manejadas con despunte temprano en dos densidades de población. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 16(3), 223-229.
108. Reyes-Tena, A., Rodríguez-Alvarado, G., de Jesús Luna-Ruíz, J., Arreola-Romero, V., Arriaga-Solorio, K. L., Gómez-Dorantes, N., & Fernández-Pavía, S. P. (2021). Tolerance to virulence phenotypes of *Phytophthora capsici* in pasilla pepper cultivars. *HortScience*, 56(10), 1239-1243.
109. Ribes-Moya, A. M., Raigón, M. D., Moreno-Peris, E., Fita, A., & Rodríguez-Burruezo, A. (2018). Response to organic cultivation of heirloom *Capsicum* peppers: Variation in the level of bioactive compounds and effect of ripening. *PLoS ONE*, 13(11). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0207888>
110. Rodríguez-Amaya, D. B. (2016). *Food Carotenoids: Chemistry, Biology and Technology*. John Wiley & Sons.
111. Rodríguez-Burruezo, A., Kollmannsberger, H., González-Mas, M. C., Nitz, S., & Fernando Nuez, F. (2009). HS-SPME comparative analysis of genotypic diversity in the volatile fraction and aroma-contributing volatile compounds of *Capsicum* fruits from the *annuum-chinense-frutescens* complex. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57 (14), 5683-5692.
112. Rodríguez-Burruezo A, Prohens J, Raigón MD, Nuez F (2009). Variation for bioactive compounds in ají (*Capsicum baccatum* L.) and rocoto (*C. pubescens* R. & P.) and implications for breeding. *Euphytica* 170:169-181. <https://doi.org/10.1007/s10681-009-9916-5>
113. Rodríguez-Burruezo, A., Raigón, M. D., Prohens, J., & Nuez, F. (2010, August). Characterization for bioactive compounds of Spanish pepper landraces.

- In *XXVIII International Horticultural Congress on Science and Horticulture for People (IHC2010): III International Symposium on 918* (pp. 537-543).
114. Rodríguez-Burruezo, A., Pereira-Dias, L., & Fita, A. in *Varietades Locales de Pimiento en España y Su Mejora Genética* (eds. Galarreta, J. I. R., Prohens, J., & Tierno, R.), pp. 405–426 (Gráficas Irudi, Vitoria-Gasteiz, Spain, 2016).
115. Rodríguez Lagreca, J. (2012). Efecto de la solarización del suelo sobre la emergencia de malezas. *Agrociencia (Uruguay)*, 16(1), 79-85.
116. Rodríguez Pérez, N. (2017). Ensayo de tres variedades de pimiento, *Capsicum annum* L. de tipo Lamuyo en dos tipos de invernaderos y en distintos sistemas de cultivo.
117. Roig, J. M., Occhiuto, P., Piccolo, R. J., & Galmarini, C. R. (n.d.). *Evaluación de resistencia a Phytophthora capsici* Leo. en *germoplasma argentino de pimiento para pimentón*.
118. Sánchez, E., Flores, P., Rodríguez-Burruezo, A., Gomariz, J., Navarro, F., Costa, J., & Catala, M. S. (2015). Contenido en vitamina C de siete variedades tradicionales de pimiento de la Región de Murcia. *Actas de horticultura*, 60, 293-296.
119. Sánchez del Castillo, F., Moreno-Pérez, E. C., Reséndiz-Melgar, R. C., Colinas-León, M. T., & Rodríguez Pérez, J. E. (2017). Producción de pimiento morrón (*Capsicum annum* L.) en ciclos cortos. *Agrociencia*, 51(4), 437-446.
120. Šeremešić, S., Dolijanović, Ž., Tomaš Simin, M., Milašinović Šeremešić, M., Vojnov, B., Brankov, T., & Rajković, M. (2024). Articulating Organic Agriculture and Sustainable Development Goals: Serbia Case Study. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 16, Issue 5). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/su16051842>
121. Serra, H. M., & Cafaro, T. A. (2007). Ácido ascórbico: desde la química hasta su crucial función protectora en ojo. *Acta bioquímica clínica latinoamericana*, 41(4), 525-532.
122. Serrano Martínez, A. A. (2009) 'Efecto de diferentes factores: fertilización, salinidad y procesado, sobre parámetros objetivos de calidad en pimiento'.
123. Serrano Cermeño, Z. (2011) 'Prontuario del cultivo de pimiento'. Serrano Cermeño, Z.
124. Silva, A. Z., Anderson, F. W., Nowaki, R. H., Cecílio Filho, A. B., & Mendoza-Cortez, J. W. (2017). Síntomas de deficiencia de macronutrientes en pimiento (*Capsicum annum* L.). *Agrociencia (Uruguay)*, 21(2), 31-43.
125. Srinivasan, K. (2016). Biological Activities of Red Pepper (*Capsicum annum*) and Its Pungent Principle Capsaicin: A Review. In *Critical Reviews in*

- Food Science and Nutrition* (Vol. 56, Issue 9, pp. 1488–1500). Taylor and Francis Inc. <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.772090>.
126. Tadesse, T., Hewett, E. W., Nichols, M. A., & Fisher, K. J. (2002). Changes in physicochemical attributes of sweet pepper cv. Domino during fruit growth and development. *Scientia Horticulturae*, 93(2), 91-103.
127. Thybo, A. K., Edelenbos, M., Christensen, L. P., Sørensen, J. N., & Thorup-Kristensen, K. (2006). Effect of organic growing systems on sensory quality and chemical composition of tomatoes. *LWT-Food Science and Technology*, 39 (8), 835-843.
128. Urrestarazu, M., Castillo, J. E., Salas, M. D. C., & CARMEN, D. (2002). Técnicas culturales y calidad del pimiento. *Horticultura*, 159, 18-26.
129. Valenzuela-García, A. A., Figueroa-Viramontes, U., Salazar-Sosa, E., Orona-Castillo, I., Gallegos-Robles, M. Á., García-Hernández, J. L., & Troyo-Diéguez, E. (2019). Effect of organic and inorganic fertilizers on the yield and quality of Jalapeño Pepper fruit (*Capsicum annuum* L.). *Agriculture*, 9(10), 208.
130. Wang, L., Zhong, Y., Liu, J., Ma, R., Miao, Y., Chen, W., Zheng, J., Pang, X., & Wan, H. (2023). Pigment Biosynthesis and Molecular Genetics of Fruit Color in Pepper. In *Plants* (Vol. 12, Issue 11). MDPI. <https://doi.org/10.3390/plants12112156>
131. Wolucka, B. A., & Van Montagu, M. (2003). GDP-mannose 3',5'-epimerase forms GDP-L-gulose, a putative intermediate for the de novo biosynthesis of vitamin C in plants. *Journal of Biological Chemistry*, 278 (48), 47483-47490
132. Wurtzel, E. T., Cuttriss, A. J., & Vallabhaneni, R. (2012). Maize provitamin A carotenoids, current resources, and future metabolic engineering challenges. *Frontiers in Plant Science*, 3, 29.
133. Zhang, W., Zhang, Y., Fan, J., Feng, Z., & Song, X. (2024). Pharmacological activity of capsaicin: Mechanisms and controversies. *Molecular Medicine Reports*, 29(3), 1-8.

ANEXO I. RELACIÓN DEL TRABAJO CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE DE LA AGENDA 2030

Anexo al Trabajo de Fin de Máster: Relación del trabajo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la agenda 2030

Grado de relación del trabajo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

Objetivos de Desarrollo Sostenibles	Alto	Medio	Bajo	No Procede
ODS 1. Fin de la pobreza.				
ODS 2. Hambre cero.				
ODS 3. Salud y bienestar.				
ODS 4. Educación de calidad.				
ODS 5. Igualdad de género.				
ODS 6. Agua limpia y saneamiento.				
ODS 7. Energía asequible y no contaminante.				
ODS 8. Trabajo decente y crecimiento económico.				
ODS 9. Industria, innovación e infraestructuras.				
ODS 10. Reducción de las desigualdades.				
ODS 11. Ciudades y comunidades sostenibles.				
ODS 12. Producción y consumo responsables.	X			
ODS 13. Acción por el clima.	X			
ODS 14. Vida submarina.				
ODS 15. Vida de ecosistemas terrestres.	X			
ODS 16. Paz, justicia e instituciones sólidas.				
ODS 17. Alianzas para lograr objetivos.				

Descripción de la alineación del TFM con los ODS con un grado de relación más alto.

- **ODS 12. PRODUCCIÓN Y CONSUMO RESPONSABLES.** Nuestros ensayos han estado enfocados en la evaluación de cultivos en condiciones de bajos insumos, apoyados en el uso del manejo ecológico y la baja irrigación, presentando unos niveles de insumos muy bajos en comparación a lo habitual. Además, se ha conseguido evitar el desecho de los frutos evaluados, al ser puestos a disposición del agricultor local para su uso y venta.

- **ODS 13. ACCIÓN POR EL CLIMA.** En un momento de emergencia climática, nuestros ensayos proporcionan una perspectiva optimista de cara a la adaptabilidad de la producción de pimiento. En una zona cada vez más árida y seca como es el levante peninsular, es crucial llevar a cabo proyectos como los dos relatados en este trabajo para lograr anteponernos a la crisis climática.
- **ODS 15. VIDA DE ECOSISTEMAS TERRESTRES.** En ambos ensayos de este trabajo, se han empleado variedades tradicionales, las cuales presentan una fuente de variación excepcional para la mejora genética. Esta, es una de las herramientas que disponen los agricultores y mejoradores a la hora de luchar contra la “erosión genética”, mostrando una alternativa viable a la agricultura intensiva.