

**UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE**

**ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ORIHUELA**

**GRADO EN INGENIERÍA AGRONÓMICA Y AGROAMBIENTAL**



**“Efecto de la Introducción de Genes de Resistencia  
a TYLCV en Líneas de Mejora del Tomate de la Pera  
(*Solanum lycopersicum L.*)”**

**TRABAJO DE FIN DE GRADO**

**FEBRERO 2026**

**AUTOR: GIMÉNEZ FERRÁNDEZ, ESTEBAN**

**TUTOR: GARCÍA MARTINEZ, SANTIAGO**

**COTUTOR: CABRERA MIRAS, JOSÉ ÁNGEL**



# **Efecto de la Introducción de Genes de Resistencia a TYLCV en Líneas de Mejora del Tomate de Pera (*Solanum lycopersicum* L.)**

## **RESUMEN**

En este trabajo se estudia el efecto de la introducción de los genes Ty-1 y ty-5 en dos familias de líneas de tomate De la Pera derivadas del programa de mejora genética. Para ello, se han analizado caracteres agronómicos (número de frutos recolectados por planta, peso medio de los frutos y producción total) y de calidad (contenido de sólidos solubles y acidez valorable).

El estudio revela que la introgresión de los genes de resistencia Ty-1 y ty-5 tiene un efecto negativo sobre los caracteres productivos, reduciendo significativamente la producción total y el número de frutos por planta, con una disminución media del 30 % respecto a las líneas sensibles. Asimismo, se observaron diferencias significativas en el peso medio del fruto, con ventaja para el genotipo ss únicamente cuando ambos genes se encuentran en ese estado. En cuanto a la calidad del fruto, el gen Ty-1 incrementa significativamente la acidez valorable, mientras que ty-5 no mostró efectos sobre este parámetro. No se detectaron diferencias significativas en el contenido de sólidos solubles. Estos resultados sugieren la existencia de un compromiso entre resistencia y productividad, y justifican la necesidad de repetir el ensayo en futuras campañas para confirmar la estabilidad de estos efectos bajo distintas condiciones de cultivo.

**Palabras clave:** de la Pera, mejora genética, genes de resistencia, Ty-1, ty-5.

## **Effect of the Introduction of TYLCV Resistance Genes in De la Pera Tomato Breeding Lines (*Solanum lycopersicum* L.)**

### **ABSTRACT**

This study analyzes the effect of the introduction of the Ty-1 and ty-5 resistance genes in two families of De la Pera tomato lines derived from a breeding program. For this purpose, agronomic traits (number of fruits harvested per plant, average fruit weight, and total yield) and fruit quality traits (soluble solids content and titratable acidity) were evaluated.

The results reveal that the introgression of Ty-1 and ty-5 genes has a negative impact on productive traits, significantly reducing total yield and the number of fruits per plant, with an average decrease of 30% compared to susceptible lines. Significant differences in average fruit weight were also observed, with an advantage for the ss genotype only when both genes were present in that state. Regarding fruit quality, Ty-1 significantly increased titratable acidity, while ty-5 showed no effect on this parameter. No significant differences were detected in soluble solids content. These findings suggest a trade-off between resistance and productivity and highlight the need to repeat the trial in future growing seasons to confirm the stability of these effects under different environmental conditions.

**Key words:** de la Pera, genetic improvement, resistance genes, Ty-1, ty-5.

## **ÍNDICE**

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>6</b>
<b>1.1. Origen y Evolución del Tomate</b>	<b>6</b>
<b>1.2. Taxonomía del Tomate</b>	<b>8</b>
<b>1.3. Botánica y Fisiología del Tomate</b>	<b>10</b>
<b>1.4. Relevancia Económica del Cultivo del Tomate</b>	<b>17</b>
1.4.1. Nivel nacional	18
1.4.2. Nivel mundial	20
<b>1.5. Variedades Tradicionales</b>	<b>23</b>
1.5.1. Origen y Características de las Variedades Tradicionales	23
1.5.2. Erosión Genética en el Cultivo del Tomate: Amenazas y Desafíos	23
1.5.3. Variedad de Tomate “De la Pera”	24
<b>1.6. Mejora Genética y sus Implicaciones</b>	<b>26</b>
1.6.1. TYLCV	27
1.6.2. Impacto de la Introducción de Resistencias	30
<b>2. OBJETIVOS</b>	<b>31</b>
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>31</b>
<b>3.1. Selección de Material Vegetal</b>	<b>31</b>
<b>3.2. Procedimientos de Cultivo</b>	<b>32</b>
3.2.1. Instalaciones	32
3.2.2. Prácticas Culturales Establecidas	33
3.2.2.1. Creación del Semillero	33
3.2.2.2. Preparación del Terreno	34
3.2.2.3. Transplante y Marco de Plantación	34
3.2.2.4. Entutorado y Poda	34
3.2.2.5. Fertirrigación	35
3.2.2.6. Tratamientos Fitosanitarios	36
3.2.2.7. Recolección	38
<b>3.3. Diseño y Planificación Experimental</b>	<b>38</b>
3.3.1. Características a Evaluar	38
3.3.1.1. Número de frutos por repetición.	38
3.3.1.2. Peso total de los frutos por planta.	39
3.3.1.2. Peso medio de frutos por planta.	39
<b>3.4. Evaluación Agronómica</b>	<b>39</b>
3.4.1. Producción y Rendimiento	40
3.4.2. Características Físicas de los Frutos	40
<b>3.5. Análisis de Calidad de Frutos</b>	<b>41</b>
3.5.1. Contenido de Sólidos Solubles	42
3.5.2. Acidez Valorable	43
3.6. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO	44
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>45</b>
4.1. PRODUCCIÓN	45
4.2. NÚMERO DE FRUTOS	46

4.3. PESO MEDIO DE LOS FRUTOS	47
4.4. SÓLIDOS SOLUBLES	48
4.5. ACIDEZ TOTAL	49
<b>5. CONCLUSIONES</b>	<b>51</b>
<b>6. REFERENCIAS</b>	<b>52</b>

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. Origen y Evolución del Tomate

La hipótesis históricamente más aceptada sobre el origen del tomate cultivado es que *Solanum lycopersicum var. cerasiforme*, la forma ancestral putativa del tomate cultivado, estuvo originalmente confinada al área de Perú y Ecuador. Se propagó en tiempos precolombinos como una maleza en campos y patios en gran parte de América tropical, ya sea con o sin la cooperación activa del hombre. En México, debido a su similitud general con la planta de alimentos más antigua, el *Physalis*, fue domesticada, y desde México, las formas cultivadas se llevaron a Europa y otras partes del Viejo Mundo (Jenkins, 1948).

Esta se formuló a partir de una serie de evidencias como la existencia de muchas formas de transición entre el cerasiforme silvestre y los tipos cultivados en México, así como entre los propios tipos cultivados y la gran cantidad de nombres distintos. También la estrecha asociación de su presencia con la actividad humana. En resumen, no se comporta como una planta nativa bien establecida, sino como una que ha sido introducida y se ha propagado en asociación con el hombre. Sabiendo que el centro de origen del género no necesariamente debe ser idéntico ni al centro de diversidad de las formas cultivadas ni a la región donde tuvo lugar la evolución de las formas cultivadas a partir de las variedades silvestres (Jenkins, 1948).

Posteriormente con el avance de las técnicas de estudio del genoma se ha llegado a conclusiones similares, El primer paso habría consistido en una selección de *Solanum pimpinellifolium* o *Solanum lycopersicum var.*

*cerasiforme* primitivo por parte de los primeros agricultores, dando como resultado el *Solanum lycopersicum var. cerasiforme* de Ecuador y el norte de Perú. El segundo paso probablemente ocurrió en Mesoamérica y consistió en una selección adicional de estos *Solanum lycopersicum var. cerasiforme* pre-domesticados después de su migración desde Ecuador y Perú. Este segundo paso completó el proceso de domesticación del tomate. Los resultados sugieren que el principal cuello de botella genético no ocurrió debido al transporte de *Solanum lycopersicum var. lycopersicum* de Mesoamérica a Europa, sino que ocurrió anteriormente, coincidiendo con la migración de *Solanum lycopersicum var. cerasiforme* desde Ecuador y el norte de Perú a Mesoamérica (Blanca et al., 2015).

Los resultados del análisis de diversidad genética sugieren que la migración desde la región de Ecuador o el norte de Perú a Mesoamérica condujo a un fuerte cuello de botella que eventualmente resultó en una reducción de la variación en el *Solanum lycopersicum var. lycopersicum* mesoamericano (Blanca et al., 2015)

Con los datos actuales no es posible saber por qué el *Solanum lycopersicum var. cerasiforme* ecuatoriano y peruano no contribuyó al acervo genético de las variedades antiguas españolas traídas a Europa, a pesar de que esas regiones también estaban bajo el control de los españoles, pero podríamos proponer que la similitud climática entre México y España podría haber jugado un papel (Blanca et al., 2015)

Otros estudios también proponen una evolución en dos pasos de la masa del fruto. Esta involucró dos conjuntos diferentes de loci, los cuales, en conjunto, dieron origen a los tomates modernos, que son aproximadamente 100 veces más grandes en tamaño de fruto que su ancestro silvestre (Lin et al., 2014).

Los extensos esfuerzos de mejoramiento han modificado el tomate durante los últimos 100 años. Los objetivos de cría se centraron en mejorar el *Solanum lycopersicum var. lycopersicum* para la resistencia a enfermedades, la adaptación a diversas áreas de producción, el rendimiento y la uniformidad.

Estos esfuerzos resultaron en la introducción de muchas introgresiones de *Solanum pimpinellifolium* y parientes más distantes del tomate, lo que llevó a una ampliación de la diversidad genética del *Solanum lycopersicum* var. *lycopersicum*. Otra consecuencia de estos programas de cría fue la selección de rasgos específicos que son característicos de los mercados de consumo fresco y de procesamiento, lo que ha llevado a una mayor diversificación y diferenciación genética entre las clases de mercado. Los rasgos que más probablemente han sido seleccionados durante la domesticación del tomate fueron el peso del fruto y, en menor medida, la forma (Blanca et al., 2015).

*Solanum lycopersicum* var. *lycopersicum* surgió en Mesoamérica ya que no hay evidencia de la existencia de *Solanum lycopersicum* var. *lycopersicum* ancestral en América del Sur. Todas las accesiones de *Solanum lycopersicum* var. *lycopersicum* muestreadas en América del Sur se encontraron con introgresiones de parientes silvestres, lo que sugiere que derivaron de esfuerzos de cría ocurridos en los últimos 100 años. Por lo tanto, para completar la domesticación de *Solanum lycopersicum* var. *lycopersicum*, *Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme* habría tenido que migrar a Mesoamérica, posiblemente como un tipo semi-domesticado. Según el análisis de red, los resultados del análisis de los principales componentes y el conocimiento previo de la historia de la especie, se podrían sugerir dos migraciones de *Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*. *Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme* podría haber migrado desde el sur de Ecuador a Colombia y Costa Rica, llegando a Mesoamérica en un proceso escalonado (Blanca et al., 2015).

## 1.2. Taxonomía del Tomate

La primera referencia escrita sobre el cultivo de tomate en España fue publicada a fines del siglo XVI por Gregorio de los Ríos, un sacerdote que se dedicaba al cuidado del jardín botánico de Aranjuez, patrocinado por el Rey Felipe II. Escribió que había dos o tres tipos de tomates que producían pomos

aquarteronadas que toman un tono rojo y que eran buenos para las salsas (Long, 1995).

Desde que el tomate cultivado fue introducido en Europa en el siglo XVI, los botánicos han reconocido la estrecha relación de los tomates con el género *Solanum* y comúnmente los denominaron *S. pomiferum* durante el siglo XVII. Tournefort (1694) fue el primero en considerar a los tomates cultivados "como un género distinto, *Lycopersicon*" ("melocotón de lobo", en griego) (Peralta & Spooner, 2000).

En *Species Plantarum*, Linneo (1753) clasificó los tomates en el género *Solanum* y describió *S. lycopersicum* y *S. peruvianum*. Jussieu (1789) también incluyó los tomates en *Solanum*. Miller (1754), sin embargo, siguió a Tournefort y describió formalmente el género *Lycopersicon*. Más tarde, Miller (1768) publicó diagnósticos para *L. esculentum* (la especie tipo), *L. peruvianum* y *L. pimpinellifolium*. La circunscripción de Miller para el género también incluyó la patata, *S. tuberosum*, y otras dos especies de *Solanum* bajo *Lycopersicon*, pero finalmente fusionó *Lycopersicon* y *Solanum* (Peralta & Spooner, 2000).

Sin embargo, Wettstein (1895), en su revisión clásica de las *Solanaceae*, incluyó *Lycopersicon* bajo *Solanum*. Borner (1912) también reconoció la estrecha afinidad entre los tomates y las patatas, y propuso un nuevo género, *Solanopsis*, para segregarlos. D'Arcy (1972, 1987), en su revisión de *Solanum*, trató a *Lycopersicon* como distinto. D'Arcy (1987) reconoció posteriormente el polimorfismo en los caracteres de las anteras que separaban en gran medida los dos géneros, y cuestionó si tal vez *Lycopersicon* debería fusionarse con *Solanum*. Lester (1991) estudió las relaciones entre pepinos domesticados, patatas y tomates utilizando caracteres de la cubierta de la semilla y otros datos. Reconoció que estos tres grupos podrían incluirse en un solo género segregado de *Solanum*, pero decidió por razones prácticas tratarlos en *Solanum* sección *Basarthrum*, *Solanum* sección *Petota* y *Lycopersicon*, respectivamente (Peralta & Spooner, 2000).

<b>REINO</b>	<i>Plantae</i>
<b>SUBREINO</b>	<i>Tracheobionta</i>
<b>SUPERDIVISION</b>	<i>Spermatophyta</i>
<b>DIVISIÓN</b>	<i>Magnoliophyta</i>
<b>CLASE</b>	<i>Magnoliopsida</i>
<b>SUBCLASE</b>	<i>Asteridae</i>
<b>ORDEN</b>	<i>Solanales</i>
<b>FAMILIA</b>	<i>Solanaceae Juss.</i>
<b>GÉNERO</b>	<i>Solanum L.</i>
<b>ESPECIE</b>	<i>Solanum lycopersicum L.</i>
<b>VARIEDAD</b>	<i>Solanum lycopersicum L. var. lycopersicum</i>

**Tabla 1:** Taxonomía del tomate.(United States Department of Agriculture, 2025)

### 1.3. Botánica y Fisiología del Tomate

*Solanum lycopersicum L.* , comúnmente conocido como tomate, presenta variedades con porte erecto o rastrero, a menudo limitado en el cultivo a un solo tallo. En los tipos primitivos, la ramificación es mínima, especialmente en la parte inferior del tallo. El eje central de la planta y sus ramas muestran un crecimiento monopodial, con una yema vegetativa en el ápice que permite un crecimiento indeterminado. Las yemas axilares en el tallo y las ramas desarrollan hojas e inflorescencias, generalmente con tres hojas entre dos inflorescencias. En algunos casos, una ramita florífera continúa creciendo en el ápice y forma hojas (León, 2000).

Una variante de crecimiento, determinada por un gen recesivo, provoca la emisión de una inflorescencia terminal, lo que resulta en un crecimiento determinado con un menor número de hojas entre las inflorescencias. La introducción de este gen en cultivares avanzados produce plantas más compactas y simétricas, lo que facilita las operaciones mecanizadas de cultivo y cosecha (León, 2000).





**Figura 1:** Imágen planta de tomate, variedad De la pera. Fotografía propia.

### 1.3.3. Raíz

El sistema radical consiste en una raíz principal de la que salen raíces laterales y fibrosas, formando un conjunto que puede tener un radio hasta de 1.5 m. En

el cultivo, sin embargo, las labores de trasplante destruyen la raíz principal y lo más común es que presente una masa irregular de raíces fibrosas. Es muy frecuente la formación de raíces adventicias en los nudos inferiores de las ramas principales (León, 2000).

### 1.3.2. Hojas

La forma de las hojas del tomate es altamente variable y está influenciada en gran medida por las condiciones ambientales. La lámina de la hoja está dividida en dos a 12 pares de segmentos o folíolos de diferentes tamaños. Frecuentemente, entre dos pares de folíolos grandes se encuentran de uno a tres pares más pequeños, todos ellos con bordes muy recortados. En el ápice de la hoja, hay un segmento más grande con lóbulos irregulares, y tanto las hojas como los tallos jóvenes suelen estar cubiertos de una abundante pubescencia. Estos pelos pueden ser largos y agudos o tener una base corta y terminar en una pequeña esfera formada por varias células (León, 2000).

Las hojas del tomate son suaves y carnosas. Justo debajo de la epidermis superior, hay una capa de células en empalizada, seguida por numerosos estratos de parénquima lacunoso que contienen numerosos espacios aéreos (León, 2000).



**Figura 2:** Imagen de una hoja de planta de tomate. Fotografía propia.

#### 1.3.4. Flor

La inflorescencia más común en el tomate es una cima racemosa, que generalmente es simple en la parte inferior de la planta y más ramificada en la superior. Las flores se abren sucesivamente, lo que significa que en una misma inflorescencia puede haber flores y frutos en diferentes etapas de desarrollo (León, 2000).

Las flores tienen un pedúnculo corto y curvado hacia abajo, lo que les da una posición colgante. En el centro del pedúnculo, hay un engrosamiento que corresponde a la zona de abscisión, lo que ocasiona que un gran número de flores caigan prematuramente, un fenómeno común en esta especie (León, 2000).

El cáliz, de color verde y persistente, está formado por un disco corto que termina en cinco a diez sépalos agudos y muy pubescentes en el lado externo. La corola, de color amarillo verdoso, consta de cinco o más pétalos, generalmente seis en los cultivares comerciales, que forman un tubo corto en la

base y se abren en un solo plano, con el ápice doblado hacia afuera cuando la flor está completamente abierta. Los estambres, de cinco a diez en cada flor, forman una columna irregular con anteras verticales y unidas, de aproximadamente cinco milímetros de largo. El pistilo está compuesto por un ovario de varias celdas y un estilo largo que sobresale ligeramente de las anteras y termina en un estigma achatado (León, 2000).



**Figura 3:** A la izquierda se observa una inflorescencia de tomate con varios botones florales y flores; a la derecha, una inflorescencia con flores y frutos en desarrollo.

Fotografía propia.

#### 1.3.5. Fruto

El fruto del tomate es una baya que presenta una forma muy variable. En los principales cultivares comerciales, suele ser ovalada (aplanada) con bordes longitudinales o lisa, aunque también se encuentran variedades elipsoidales y piriformes. Por otro lado, en los tomates silvestres, los frutos tienden a ser esféricos y predominan en su forma. El número de celdas en los frutos de los tomates silvestres es generalmente de dos, mientras que en los cultivares comerciales, seleccionados por el mayor número de tabiques y su grosor, es común encontrar de cinco a diez celdas (León, 2000).

La epidermis del fruto está compuesta por una capa de células con paredes externas engrosadas por la cutícula. A menudo, se observa la presencia de pelos o glándulas que desaparecen a medida que el fruto madura. Justo debajo de la epidermis, se encuentran tres o cuatro estratos de colénquima que, junto con la epidermis, forman una cáscara fina y resistente. Esta cáscara puede presentar pigmentos amarillos o rojos, dependiendo de la variedad del tomate (León, 2000).

El resto del fruto está compuesto por parénquima cargado de pigmentos rojos y amarillos, que se presentan como cristales suspendidos en el líquido que rellena las células. Las paredes de las celdas también están formadas por parénquima, interrumpido por cordones aislados de haces vasculares. Los tejidos de la placenta, donde se encuentran las semillas, contienen una mayor cantidad de haces vasculares, lo que les confiere un color más claro. Las capas de células que rodean las semillas se disuelven durante la madurez, formando una masa gelatinosa rica en granos de almidón (León, 2000).

Las semillas del tomate son planas y ovaladas, con una longitud que oscila entre dos y cinco milímetros, y están cubiertas de pelos finos. El embrión ocupa la mayor parte de la semilla y se encuentra enrollado cerca de la superficie (León, 2000).



**Figura 4:** A la izquierda un tomate redondo; a la derecha un racimo de tomates pera.

Fotografía propia.

## 1.4. Relevancia Económica del Cultivo del Tomate

El tomate, una de las hortalizas más icónicas y versátiles, ocupa un lugar preeminente en el comercio internacional y en la economía agrícola global. Su papel como la hortaliza más comercializada a nivel mundial subraya su relevancia económica, con el mercado europeo destacándose como el principal importador y exportador de esta valiosa cosecha. Según datos del informe de los Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura, el volumen de exportaciones mundiales de tomates ha crecido a una tasa anual promedio del 5.19% desde 2007, reflejando una demanda en constante aumento (Capobianco-Uriate et al., 2021).

En términos de comercio global, el tomate representa un impresionante 20.86% del volumen total de exportación de hortalizas frescas, según la Organización de las Naciones Unidas. Este dato subraya la importancia del tomate no solo como un producto alimenticio esencial, sino también como un motor económico clave en el ámbito agrícola. Además, FAOSTAT estima que el tomate es la hortaliza más cultivada en el mundo, alcanzando un pico histórico de 177.04 millones de toneladas en 2016, cultivadas en una superficie total de 4.78 millones de hectáreas y con un rendimiento de 37.02 toneladas por hectárea (Capobianco-Uriate et al., 2021).

Más de la mitad de la producción mundial de tomates se concentra en cuatro países: China, India, Estados Unidos y Turquía. China lidera la producción global con un 31.81% del total, seguida por India con un 10.39%, Estados Unidos con un 7.36% y Turquía con un 7.12%. Entre 2005 y 2016, la producción de tomate aumentó en un 29.08% a una tasa de crecimiento anual promedio del 3.14%, ligeramente superior a la tasa de crecimiento de la producción hortícola mundial del 2.97%. Este crecimiento se ha visto impulsado tanto por un incremento del 13.35% en el área cosechada como por un aumento del 13.98% en los rendimientos, gracias a la disponibilidad de nuevas variedades y métodos de cultivo innovadores, así como a la creciente demanda de hortalizas (Capobianco-Uriate et al., 2021).

Entender la producción, superficie cultivada y rendimiento del tomate es crucial para apreciar su importancia económica. Estos factores influyen directamente en la rentabilidad y competitividad del cultivo, siendo esenciales para la planificación estratégica y la toma de decisiones en el sector agrícola. A nivel nacional, la gestión óptima de estos recursos puede maximizar los beneficios económicos del cultivo del

tomate, consolidando su rol como un pilar de la economía agrícola y comercial (Capobianco-Uriate et al., 2021).

#### 1.4.1. Nivel nacional

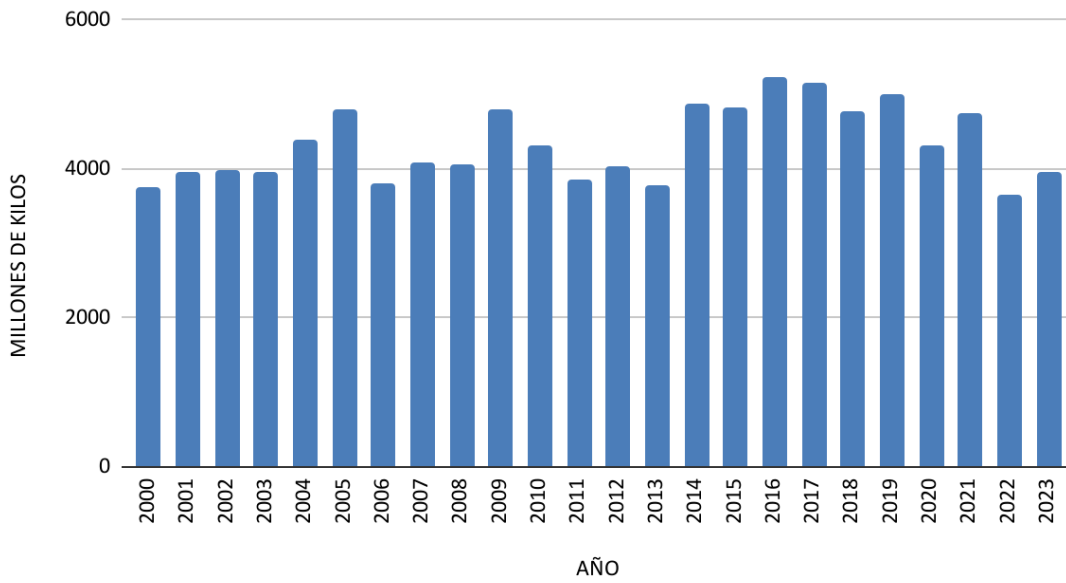
Analizando los datos recopilados durante los últimos veinte años, se observa una notable estabilidad en la producción nacional de tomate en España, manteniéndose alrededor de los cuatro mil millones de kilogramos hasta el año 2013. A partir de ese punto, se registra un incremento del 20% en la producción los siguientes años, con la excepción del año 2022, donde se observa una disminución en la producción, relacionada directamente con una reducción del área de cultivo.

En cuanto al área cosechada, se aprecia una tendencia a la baja desde el año 2005 hasta el 2013. Durante este período, la superficie dedicada al cultivo de tomate disminuyó desde su máximo en los últimos 20 años, alcanzando las setenta y dos mil hectáreas hasta llegar a las cuarenta y seis mil en el año 2013. Sin embargo, desde entonces se ha estabilizado en alrededor de sesenta mil hectáreas en la actualidad.

El rendimiento del tomate, por otro lado, ha mostrado una tendencia creciente desde el inicio del siglo. Se pasó de alrededor de sesenta toneladas por hectárea a principios de siglo, a alcanzar las ochenta toneladas por hectárea en el año 2012. Desde entonces, el rendimiento se ha mantenido relativamente estable, lo que ha llevado a una correlación directa entre la producción nacional y la superficie cultivada en la actualidad.

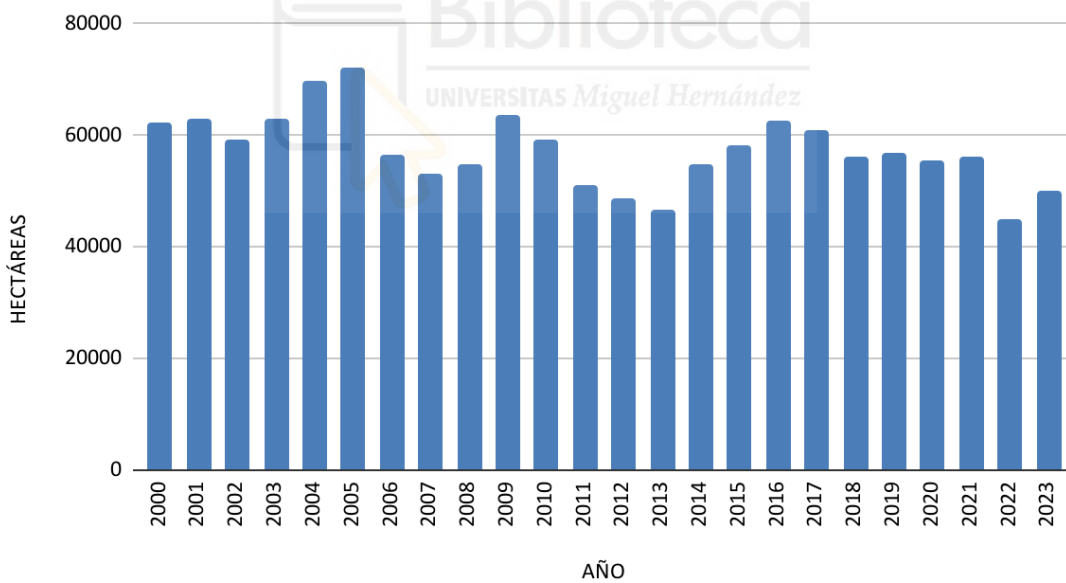
Al profundizar en el análisis de estos datos, es esencial considerar los factores subyacentes que pueden haber influido en estas tendencias, como los avances tecnológicos en la agricultura, las fluctuaciones en la demanda del mercado y los cambios en las condiciones climáticas. Además, la estabilización del rendimiento y la superficie cultivada plantean importantes preguntas sobre cómo mejorar la eficiencia y la sostenibilidad del cultivo del tomate en España para enfrentar los desafíos futuros del mercado global.

## PRODUCCIÓN ESPAÑA



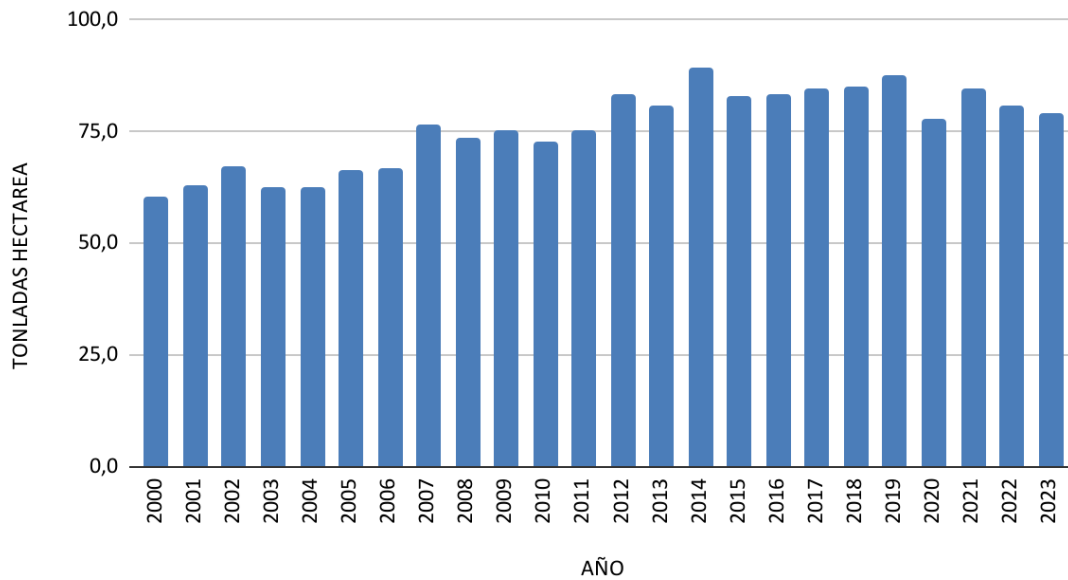
**Gráfica 1:** Producción total de tomate fresco en España (2000-2025)(Base de datos FAO 2025)

## ÁREA COSECHADA ESPAÑA



**Gráfica 2:** Superficie total cultivada de tomate fresco en España (2000-2023)(Base de datos FAO 2025)

## RENDIMIENTO ESPAÑA



**Gráfica 3:** Rendimiento medio de tomate fresco en España (2000-2023)(Base de datos FAO 2025)

### 1.4.2. Nivel mundial

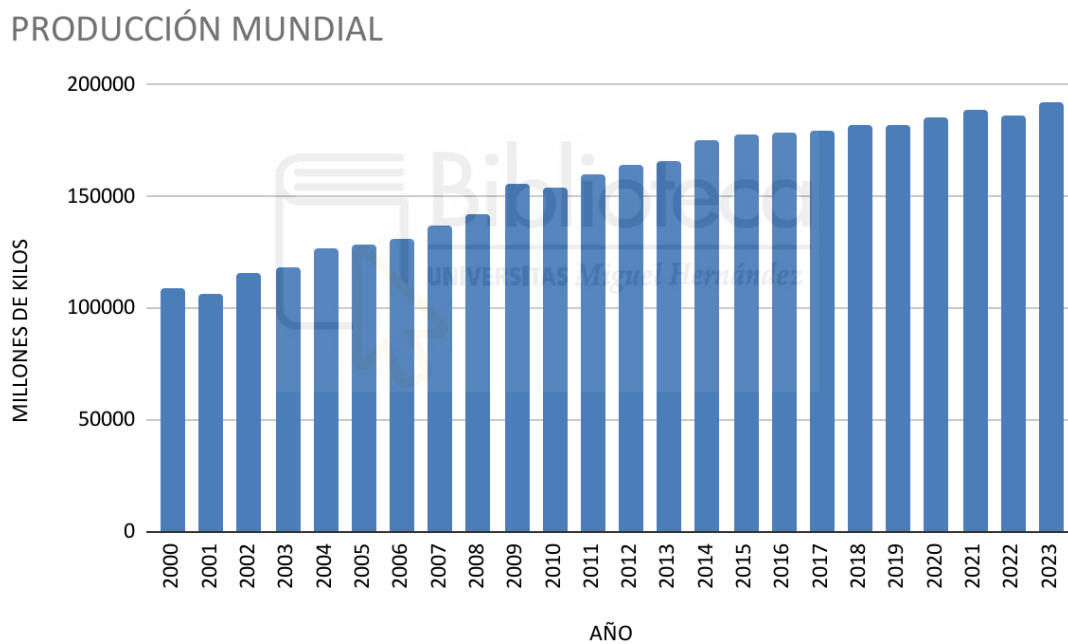


La importancia económica del tomate a nivel mundial es evidente al observar el constante crecimiento de su producción en las últimas dos décadas, alcanzando actualmente la impresionante cifra de ciento noventa mil millones de kilogramos. Este incremento refleja la demanda global constante de este producto y su papel fundamental en la dieta de las personas a nivel mundial.

El aumento en la producción de tomate a nivel mundial se ha visto acompañado por un crecimiento similar en la superficie cultivada, que ahora abarca aproximadamente cinco millones de hectáreas. Aunque este aumento ha sido notable, se ha mantenido en un ritmo más lento en comparación con el crecimiento de la producción. Esto se debe en parte al incremento en los rendimientos, que han mejorado gracias a avances en tecnología agrícola y prácticas de cultivo más eficientes.

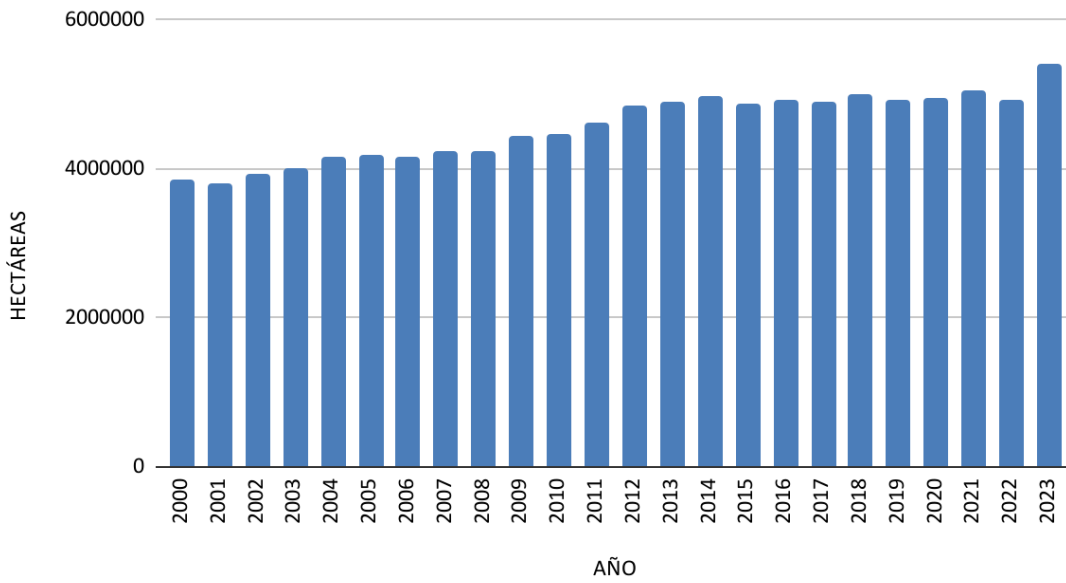
A pesar de estos avances, los rendimientos del tomate a nivel mundial apenas alcanzan las cuarenta toneladas por hectárea, lo que representa menos de la mitad del rendimiento promedio en España. Esta disparidad resalta la necesidad de continuar mejorando las prácticas agrícolas y la tecnología en los países productores de tomate, con el objetivo de aumentar la productividad y la competitividad en el mercado global.

En conclusión, el crecimiento constante de la producción y la superficie cultivada, junto con los desafíos persistentes en los rendimientos, subrayan la importancia económica del tomate a nivel mundial y la necesidad de continuar innovando y mejorando en la producción de este cultivo vital.



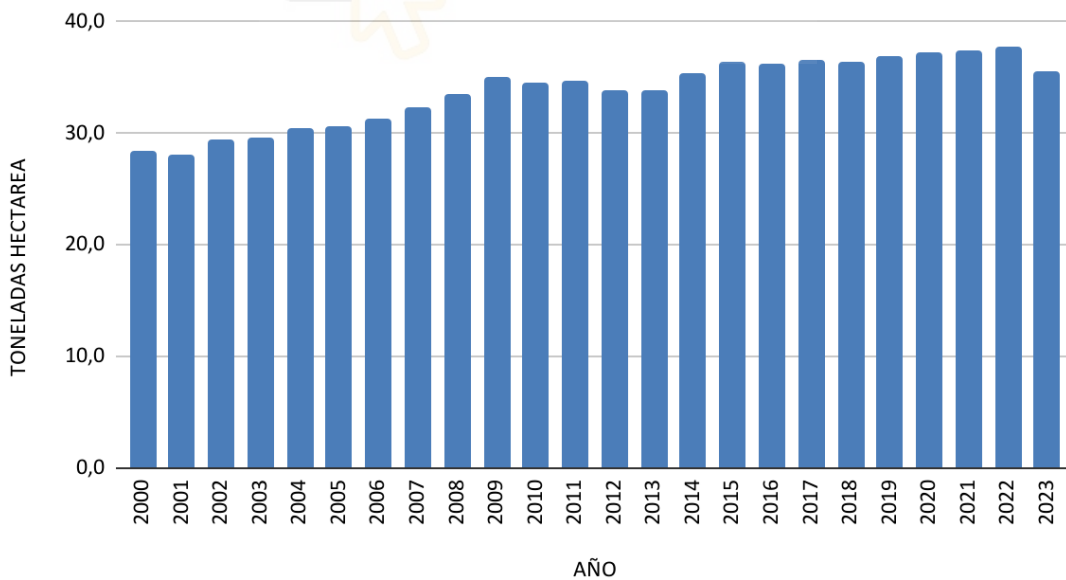
**Gráfica 4:** Producción mundial de tomate fresco (2000-2023)(Base de datos FAO 2025)

## ÁREA COSECHADA MUNDIAL



**Gráfica 5:** Superficie total cultivada de tomate fresco en el mundo (2000-2023)(Base de datos FAO 2025)

## RENDIMIENTO MUNDIAL



**Gráfica 6:** Rendimiento medio de tomate fresco en el mundo (2000-2022)(Base de datos FAO 2025)

## 1.5. Variedades Tradicionales

### 1.5.1. Origen y Características de las Variedades Tradicionales

Una vez en Europa, el cultivo se adaptó a unas nuevas condiciones ambientales, y también a los gustos y usos de los nuevos agricultores y consumidores. Los distintos procesos de adaptación, intercambios entre agricultores, selecciones de poblaciones heterogéneas, hibridaciones, etc., produjeron una diversificación de formas y tipos. Así, se desarrollaron diversas variedades de tomate adaptadas a cada una de las múltiples condiciones agroclimáticas de nuestro país y también a los gustos de los distintos pueblos y culturas de España. Estas variedades llegan hasta nosotros como un rico tesoro de diversidad agrobiológica, moldeadas por las condiciones locales donde han prosperado. Algunas son completamente autóctonas, arraigadas en la misma esencia de su lugar de origen, mientras que otras fueron introducidas desde otros centros genéticos agrícolas, evolucionando con el paso del tiempo en cultivares igualmente locales y singulares (Ruiz de Galarreta Gómez et al., 2016).

Muchas de estas variedades no sólo se caracterizan por unas excelentes propiedades organolépticas, sino que tienen una morfología deseable al contar, en el caso de algunas variedades, con corazones de gran tamaño y lóculos pequeños que aportan solidez y consistencia al fruto. Otras veces las variedades tradicionales han sido seleccionadas por presentar frutos ahuecados para ser rellenos o por tener una carne suave y melosa (Ruiz de Galarreta Gómez et al., 2016).

### 1.5.2. Erosión Genética en el Cultivo del Tomate: Amenazas y Desafíos

El modelo agrario predominante en la actualidad, marcado por la agricultura convencional, se caracteriza por una marcada uniformidad en las variedades

de especies cultivadas. Esta uniformidad conlleva una notable disminución en la diversidad biológica, en gran parte debido a la pérdida de variedades de cultivo tradicional, reemplazadas por nuevas variedades comerciales desarrolladas por grandes empresas con miras a los mercados globales. Estas variedades, en su mayoría híbridas, muestran un potencial productivo optimizado cuando se les administran dosis óptimas de fertilizantes y pesticidas al cultivo. Sin embargo, exhiben una disminución en su rusticidad frente a condiciones climáticas adversas o patógenos, y, lo que es aún más relevante, presentan una incapacidad de reproducción por parte del agricultor, ya que pierden sus características distintivas en generaciones posteriores. De esta situación derivan varios problemas que enfrenta el agricultor moderno, como la creciente dependencia de insumos agrícolas, la unificación genética y el empobrecimiento adaptativo, junto con una gradual pero constante decadencia cultural (Roselló et al., 1998).

La situación es preocupante; en el ámbito de la horticultura, numerosas variedades locales han desaparecido debido a la falta de uso, siendo desplazadas por selecciones más productivas. Otras se mantienen relegadas, necesitando un proceso de tipificación, selección y mejora para recuperar sus características distintivas y ser reincorporadas al proceso productivo comercial. En este contexto, la preservación y revitalización de las variedades agrícolas tradicionales emerge como una tarea crucial, no solo para salvaguardar la diversidad biológica y cultural, sino también para promover la sostenibilidad y la resiliencia en la agricultura del mañana (Roselló et al., 1998).

### 1.5.3. Variedad de Tomate “De la Pera”

'De la Pera' es una variedad autóctona de tomate que es muy popular en una zona limitada del sureste de España debido a su calidad organoléptica de la fruta. Su cultivo está restringido a una pequeña área en la región del río Segura en Alicante. Los frutos tienen una textura jugosa y firme, una alta proporción de semillas y mucílago, y un sabor pronunciado. Los frutos pesan entre 75 y 125 g, variando desde forma alargada-ovalada hasta forma de campana con hombros oscuros y sin costillas (García-Martínez et al., 2012).

Aunque la mayoría de estos tomates exhiben la típica forma de pera, algunas variantes presentan una morfología ligeramente alargada y sección rectangular. Con una notable productividad y un tamaño de fruto intermedio, estos tomates son consumidos prácticamente al inicio de la maduración, cuando comienza el cambio de color. Sin embargo, prolongar su maduración puede resultar en un tejido placentario acuoso, disminuyendo la apariencia atractiva del fruto (Alcubirre Pueyo, 2016).

Con dos o tres lóculos separados por gruesos tabiques, el pericarpio de estos tomates es notablemente robusto y permanece firme durante un período considerable. Suelen presentar un hombro persistente, una cicatriz peduncular pequeña y raramente sufren problemas de agrietado (Alcubirre Pueyo, 2016).

Tradicionalmente, estos frutos tenían un doble propósito: los primeros recolectados se destinaban al consumo fresco, mientras que los últimos eran empleados para conservas. Sin embargo, a mediados del siglo XX, este tipo varietal comenzó a desaparecer, siendo reemplazado por híbridos comerciales especialmente diseñados para la industria conservera (Alcubirre Pueyo, 2016).



**Figura 5:** Racimo de tomates de la pera. Fuente propia.

## 1.6. Mejora Genética y sus Implicaciones

La mejora genética en tomates es un proceso fundamental que ha evolucionado a lo largo del tiempo para enfrentar desafíos específicos y maximizar la calidad y productividad de los cultivos. Inicialmente, la mejora convencional se centraba en la

selección fenotípica de individuos con características deseables, pero este proceso era lento y no siempre garantiza la obtención de cultivares mejorados. Sin embargo, la introducción de la selección asistida por marcadores (MAS) ha revolucionado este campo, permitiendo una selección más eficiente basada en el genotipo en lugar del fenotipo (Alvarez Gil, 2011).

Los marcadores moleculares, como se señala en investigaciones realizadas por Miller y Tanksley (1990), son herramientas poderosas que permiten identificar características genéticas específicas, lo que facilita la introducción de genes de interés, como resistencia a enfermedades, en el tomate con mayor efectividad. Esta capacidad para seleccionar genes específicos provenientes de especies silvestres de tomate ha sido crucial para mejorar la resistencia y la calidad de los frutos (Miller & Tanksley, 1990).

La cría de nuevas variedades de tomate ha sido un proceso continuo que ha evolucionado durante más de dos siglos. Inicialmente, se centraba en desarrollar cultivares multipropósito, pero con el tiempo se ha adaptado para satisfacer las demandas específicas del mercado fresco y de procesamiento. Rasgos como resistencia a enfermedades, adaptabilidad, precocidad en la madurez y calidad de la fruta son prioritarios en ambos sectores (Foolad, 2007).

En regiones específicas, los programas de mejora genética se han enfocado en desarrollar variedades adaptadas a las condiciones locales, incluyendo resistencia a plagas y enfermedades, así como adaptación al clima. Estos programas han permitido combinar genes favorables de variedades productivas y resistentes a enfermedades a lo largo de años de selección rigurosa, ampliando así la diversidad genética disponible para los agricultores (Alvarez et al., 2003).

En resumen, la mejora genética en tomates es un proceso complejo y en constante evolución que combina técnicas tradicionales con avances modernos en biotecnología. La introducción de nuevas variedades mejoradas es fundamental para garantizar la seguridad alimentaria y la sostenibilidad de la industria agrícola a nivel mundial.

### 1.6.1. TYLCV

El rizado amarillo del tomate (TYLCV) representa una de las mayores amenazas para los cultivos de tomate a nivel mundial, especialmente en regiones tropicales y subtropicales, donde las pérdidas económicas pueden alcanzar el 100%. Los síntomas de esta enfermedad viral incluyen el rizado hacia arriba de los márgenes de los folíolos, la reducción del área foliar y el amarilleo de las hojas jóvenes, acompañados de enanismo y aborto de flores. Estos síntomas conducen a una disminución general del crecimiento de la planta y a rendimientos reducidos, lo que puede resultar en una pérdida casi total de la producción si las plantas están infectadas durante las etapas tempranas de crecimiento (Czosnek & Laterrot, 1997).

La propagación del TYLCV está estrechamente relacionada con la presencia de la mosca blanca *Bemisia tabaci*, que actúa como su vector natural. Los primeros informes de daños causados por esta enfermedad se remontan a Israel a finales de la década de 1930, y desde entonces, los cultivos de tomate en países de Oriente Medio han sufrido graves repercusiones, con la enfermedad convirtiéndose en el principal factor limitante para la producción (Czosnek & Laterrot, 1997).

La importancia económica y agrícola del TYLCV ha estimulado una amplia investigación sobre el virus, su interacción con el vector y métodos de control. Estudios detallados han confirmado la naturaleza del geminivirus, agente causante de la enfermedad, y se han identificado diversas cepas y variantes en diferentes regiones del mundo. Se han desarrollado estrategias de control que incluyen el uso de insecticidas, cultivos resistentes y control biológico para reducir la incidencia y propagación del virus en los cultivos de tomate (Moriones & Navas-Castillo, 2000; Czosnek & Laterrot, 1997).

El TYLCV representa una grave amenaza para la producción de tomate en todo el mundo, y su control efectivo es crucial para garantizar la seguridad alimentaria y la estabilidad económica en las regiones afectadas.



**Figura 6:** Planta afectada por TYLCV. (Ferrin, 2010)



**Figura 7:** Planta afectada por TYLCV. (Ferrin, 2010)

## 1.6.2. Impacto de la Introducción de Resistencias

La introducción de genes de resistencia como los de Ty-1, Tm-2a y Sw-5 en variedades tradicionales de tomate ha demostrado tener efectos significativos sobre los parámetros agronómicos y de calidad. Según varios estudios, la presencia del gen Ty-1 ha mostrado un efecto negativo en casi todos los parámetros estudiados, especialmente en la producción comercial, que puede disminuir hasta un 50% (Carbonell, 2017). Este efecto adverso se debe a la introgresión de estos genes, lo que puede resultar en "arrastre genético" o la introducción de otros genes no deseados que afectan el rendimiento. De hecho, el gen Ty-1 ha sido identificado como el principal responsable de la disminución de la productividad cuando está en homocigosis, como se observó en las líneas mejoradas que contienen los tres genes de resistencia (Rubio et al., 2010). A pesar de que estas líneas presentaban una resistencia efectiva contra el TYLCV, su rendimiento fue inferior al de las variedades parentales originales (Carbonell, 2017).

En algunos casos, el gen Ty-1 ha demostrado ser el mayor responsable de la reducción de la calidad y del rendimiento. Las líneas que portan este gen presentan una producción comercial menor en comparación con otras variedades resistentes al virus, como UMH 1200, que contiene este mismo gen (Carbonell, 2017). Estos resultados resaltan la dificultad de desarrollar cultivares resistentes homocigotos, ya que la presencia del gen Ty-1 está asociada con la disminución de varias características productivas, lo que afecta tanto al rendimiento como a los parámetros de calidad (Rubio et al., 2010).

Por tanto, es necesario seguir buscando plantas con el gen de resistencia Ty-1 que hayan logrado recombinarse en las regiones cercanas a este gen, perdiendo fragmentos del cromosoma de la especie silvestre y favoreciendo el cromosoma del cultivar de interés. Esto permitiría mitigar los efectos negativos asociados a la presencia de Ty-1 y mejorar tanto el rendimiento como la calidad de las variedades resistentes (Carbonell, 2017).

## 2. OBJETIVOS

El objetivo de este trabajo es llevar a cabo un análisis del efectos de los genes de resistencia Ty-1 y Ty-5, los cuales confieren tolerancia al virus del rizado amarillo del tomate (TYLCV). Para lograr esto, se realizará un análisis de diversos caracteres agronómicos y de calidad en las líneas de mejora genética desarrolladas en el Programa de Mejora Genética del CIAGRO-UMH.

Los caracteres agronómicos que se analizarán incluyen el número de frutos recolectados por planta, el peso medio de los frutos y la producción total obtenida. Además, se estudiarán aspectos relacionados con la calidad de los tomates, tales como el contenido de sólidos solubles y la acidez valorable.



## 3. MATERIALES Y MÉTODOS

### 3.1. Selección de Material Vegetal

Se han utilizado dos familias de líneas de mejora genética de tomate *De la Pera* (175 y 220), ambas con las cuatro combinaciones posibles en homocigosis de los genes Ty-1 y Ty-5. Estas líneas forman parte del programa de mejora genética de variedades tradicionales llevado a cabo por el CIAGRO-UMH, un proyecto que continúa vigente en la actualidad.

**Tabla 2:** Genotipo de las líneas homocigóticas estudiadas, para los 4 genes de resistencia introducidos

Familia	Línea	Genes de resistencia			
		Tm-2a	Sw-5	Ty-1	ty-5
175	175-1	RR	RR	RR	rr
	175-2	RR	RR	ss	SS
	175-3	RR	RR	ss	rr
	175-4	RR	RR	RR	SS
220	220-1	RR	RR	RR	rr
	220-2	RR	RR	ss	SS
	220-3	RR	RR	ss	rr
	220-4	RR	RR	RR	SS

### 3.2. Procedimientos de Cultivo

#### 3.2.1. Instalaciones

El cultivo de tomates se realizó en un umbráculo del CIAGRO-UMH, ubicado en la Escuela Politécnica Superior de Orihuela (EPSO, Desamparados). Esta instalación se localiza en las coordenadas 38°04'05.3"N, 0°58'51.3"W (38.068139° N, -0.980917° W). Está especialmente diseñado para optimizar el crecimiento de las plantas. Esta estructura está construida con una malla cortavientos, que proporciona una protección eficaz frente a condiciones climáticas adversas, a la vez que permite la circulación de aire necesaria para mantener un ambiente saludable para las plantas.

El diseño del umbráculo es de tipo multicapilla. Esta estructura está configurada con un techo a dos aguas y simétrico, lo que garantiza una distribución uniforme de la luz y el calor en toda la superficie de cultivo.

Las dimensiones del umbráculo con una anchura de 26 metros y una longitud de 36 metros, proporciona un amplio espacio para albergar una gran cantidad de plantas de tomate. La altura del umbráculo es de 4 metros hasta el canal, lo que permite una adecuada ventilación y circulación de aire dentro del espacio de cultivo. Además, la altura hasta la cumbrera es de 5 metros, lo que proporciona suficiente espacio vertical para el crecimiento vertical de las plantas y facilita el acceso para el mantenimiento y la cosecha.

En resumen, este umbráculo ofrece un entorno óptimo para el cultivo de tomates, con una combinación perfecta de protección, ventilación y espacio suficiente para un crecimiento saludable y productivo de las plantas.



**Figura 8:** Vista frontal del umbráculo.



**Figura 9:** Vista cenital del umbráculo.

### 3.2.2. Prácticas Culturales Establecidas

#### 3.2.2.1. Creación del Semillero

Las semillas se mandaron a Semilleros José y Belén, ubicado en el municipio de Albufera (Alicante). Allí fueron germinadas para su posterior trasplante en el campo de ensayo. Para esta germinación se utilizaron bandejas semillero de poliestireno expandido de 150 alveolos. El sustrato empleado para la germinación fue una mezcla entre turba rubia al 80% y turba negra al 20 % junto a un aporte de fertilizante.

#### 3.2.2.2. Preparación del Terreno

Antes de la plantación se realizó una desinfección del suelo con el objetivo de evitar los posibles daños producidos por hongos como el Fusarium, el cual puede dar problemas a la hora de la recogida de datos del ensayo.

Posteriormente se hace un aporte de materia orgánica al suelo. Esta aplicación se hizo a toda tierra con pellet de estiércol de oveja con un porcentaje de fertilizante.

Finalmente unas labores del suelo previas al trasplante con el objetivo de incorporar la materia orgánica al suelo y mejorar la estructura del suelo.

### 3.2.2.3. Transplante y Marco de Plantación

Previamente al trasplante se extendieron las gomas de riego para realizar el riego tras el trasplante.

El trasplante se realizó en un marco de plantación de 1 metro de distancia entre líneas y 0,4 metros entre plantas. Esto sería unas 25.000 plantas por hectárea o 2,5 plantas por metro cuadrado.

### 3.2.2.4. Entutorado y Poda

El entutorado del tomate es una práctica agrícola esencial que implica proporcionar apoyo y orientación a las plantas de tomate conforme crecen. Para esto, se emplean estructuras verticales como postes o cuerdas, que ayudan a sostener las plantas y prevenir que se inclinen o se quiebren bajo el peso de los frutos. Esta técnica no solo fomenta un crecimiento más organizado y vertical, sino que también mejora la ventilación y la exposición de las plantas a la luz solar, lo que resulta en una mejor calidad y producción de los tomates.

Por otro lado, la poda en el cultivo del tomate es otra práctica fundamental que implica la eliminación selectiva de brotes laterales y hojas de las plantas para favorecer un crecimiento más vigoroso y una mayor producción de frutos. Se retiran los brotes laterales que crecen en las axilas de las hojas principales, ya que suelen competir por los nutrientes y pueden reducir la ventilación y exposición al sol de la planta. Además, se pueden eliminar algunas hojas inferiores para mejorar la circulación de aire y la penetración de la luz, lo que ayuda a reducir el riesgo de enfermedades y promueve un desarrollo más saludable de los frutos.

Durante todo el ciclo de cultivo, realizamos estas labores de entutorado y poda de manera semanal, comenzando desde el momento en que las plantas no podían sostenerse verticalmente por sí mismas hasta el final del cultivo. Para el entutorado, optamos por atar individualmente las plantas con cuerdas y pinzas, asegurándonos de que quedaran firmes, especialmente en la zona inferior de la hoja. En cuanto a la poda, retiramos los brotes laterales cuando alcanzaban un tamaño mayor a 3 cm y aquellos que emergían de las hojas.

### 3.2.2.5. Fertirrigación

El programa de fertirrigación en el cultivo de tomate se diseñó para ajustarse a las necesidades nutricionales de la planta en cada fase de su desarrollo. La aplicación de macronutrientes esenciales se llevó a cabo en tres etapas diferenciadas, utilizando la siguiente fórmula de abonado:

- 375 kg/ha de Nitrógeno (N)
- 225 kg/ha de Fósforo ( $P_2O_5$ )
- 550 kg/ha de Potasio ( $K_2O$ )

La distribución de estos nutrientes a lo largo del ciclo del cultivo se realizó en distintas proporciones según la fase fenológica:

- Etapa 1 (trasplante hasta tercer racimo floral): 1 N – 2  $P_2O_5$  – 1  $K_2O$
- Etapa 2 (cambio de color de los primeros frutos): 1 N – 1  $P_2O_5$  – 1  $K_2O$
- Etapa 3 (maduración y finalización del cultivo): 1 N – 0.3  $P_2O_5$  – 2  $K_2O$

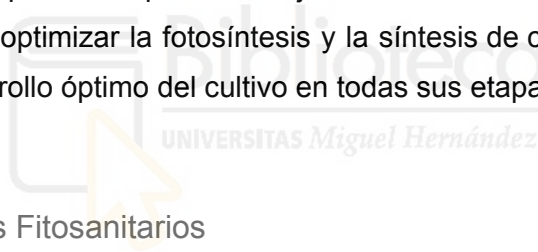
El equilibrio entre estos macronutrientes permitió optimizar el crecimiento vegetativo en las primeras etapas y favorecer la floración, fructificación y calidad de los frutos en las fases posteriores.

Con el fin de cubrir las necesidades de micronutrientes en el cultivo de tomate, se aplicaron diferentes agroquímicos nutricionales en cada fase del desarrollo. Estos productos proporcionaron un adecuado equilibrio de elementos esenciales para el crecimiento y calidad del fruto.

NOMBRE COMERCIAL	COMPOSICIÓN NUTRICIONAL
Siapton	Aminoácidos 7,9%
Pitca	Calcio 6%
Isabión	N 5,7% + P 5,4% + K 7% + Aminoácidos 6%
AgroStim	AATC (ácido N-acetil-4-triazolidin carboxílico) 5% + Ácido fólico 0,1% p/v
Brotomax	N, P, K (5-0-0) Urea, Cobre (1,75%), Manganeso (0,75%), Zinc (0,5%)

**Tabla 3:** Productos empleados para la suplementación de micronutrientes en la fertirrigación del tomate

La aplicación de estos productos permitió mejorar la absorción de nutrientes, fortalecer la estructura celular y optimizar la fotosíntesis y la síntesis de compuestos esenciales, garantizando un desarrollo óptimo del cultivo en todas sus etapas.



### 3.2.2.6. Tratamientos Fitosanitarios

El cultivo de tomate es susceptible a diversas plagas y enfermedades que pueden afectar su desarrollo y producción. Entre los principales agentes fitopatógenos identificados en el cultivo se encuentran:

Plagas:

- *Tuta absoluta* (polilla del tomate)
- *Frankliniella occidentalis* (trips)
- *Bemisia tabaci* (mosca blanca)
- *Chrysodeixis chalcites* (plusia)
- *Aculops lycopersici* (ácaro vasates)
- *Tetranychus urticae* (araña roja)

Enfermedades:

- *Leveillula taurica* (oídio)

Para el control de estos agentes se realizaron tratamientos fitosanitarios con una periodicidad de 10-15 días, ajustando su aplicación en función de la incidencia de plagas y enfermedades en el cultivo. A continuación, se presenta la lista de productos fitosanitarios utilizados y sus materias activas:

NOMBRE COMERCIAL	MATERIA ACTIVA
Affirm	Emamectina 0,855% p/p
Altacor 30 WG	Clorantraniliprol 35% p/p
Bacillus B-Tec 32	<i>Bacillus thuringiensis</i>
Belpron	Azufre 90% DP
Doam Mojante	Alcohol Isotrideciloetoxilado 20%
Enervin Duo SC	Ametoctradin 30% p/v + Dimetomorf 22,5% p/v SC
Epik	Acetamiprid 20% SP
Eradiocoat	Maltodextrina 59,8% p/v
Oxicloruro de cobre 50	Oxicloruro de cobre 50% p/p
Previcur Energy	Fosetil 31% + Propamocarb 53% p/v SL
Revus	Mandipropamid 25% p/v
Spintor 480 SC	Spinosad 48% p/v
Switch One	Fludioxinil 50% WG

**Tabla 4:** Productos fitosanitarios autorizados y sus materias activas para el control de plagas en el cultivo del tomate.

El uso estratégico de estos productos permitió minimizar el impacto de plagas y enfermedades en el cultivo, asegurando una producción de calidad y reduciendo las pérdidas por daños fitosanitarios.

### 3.2.2.7. Recolección

La recolección se realizó semanalmente desde que empezaron a madurar los primeros frutos hasta que la planta dejó de producir. Esta se hizo manualmente distinguiendo entre las distintas repeticiones. En el momento de la recolección también se hizo un triaje in situ distinguiendo entre los frutos comerciales y los no comerciales, para analizarlos posteriormente en el laboratorio. A la vez también se contaron número de frutos en cada recolección y peso medio.

## 3.3. Diseño y Planificación Experimental

### 3.3.1. Características a Evaluar

En el experimento podemos distinguir entre dos caracteres a evaluar, los productivos y los de calidad.

Los productivos se toman in situ en el campo de prácticas mientras que los de calidad posteriormente en el laboratorio.

#### 3.3.1.1. Número de frutos por repetición.

Se realizó un conteo de los frutos por repetición, con una distinción entre los frutos comerciales y aquellos que no cumplieran con los estándares requeridos. Obtuvimos un número de frutos por planta y por repetición, proporcionando información sobre el rendimiento de cada repetición a lo largo de la recolección.

#### 3.3.1.2. Peso total de los frutos por planta.

En cada recolección se hizo un pesado de los frutos por planta, obteniendo tres pesos distintos, el de los frutos comerciales, los no comerciales y el peso total siendo este el conjunto de ambos pesos.

En cada recolección se pesaron conjuntamente los frutos de cada planta, distinguiendo los comerciales de los no comerciales. Se utilizó una balanza de laboratorio, que expresaba el peso en gramos, sin decimales. La producción, expresada en g/planta, es el resultado de la suma del peso de todos los frutos recolectados de cada planta en cada recolección.

#### 3.3.1.2. Peso medio de frutos por planta.

El peso medio de los frutos de cada planta, expresado en gramos.

### 3.4. Evaluación Agronómica

La evaluación agronómica se llevó a cabo mediante el análisis de diversos caracteres productivos y físicos de los frutos, con el fin de determinar el rendimiento de las diferentes líneas de tomate y evaluar su potencial agrícola. Esta evaluación es crucial para determinar la viabilidad de las variedades mejoradas en términos de producción, calidad y adaptabilidad a diferentes condiciones de cultivo.

La medición de los caracteres de producción se realizó en cada recolección, diferenciando entre frutos comerciales y no comerciales. Se consideraron frutos no comerciales aquellos que presentaban deformaciones significativas o un peso inferior a 80 gramos, lo que afectaba su valor comercial. Al sumar ambos tipos de frutos, se obtuvo la producción total de cada planta, permitiendo realizar una comparación más precisa entre las distintas variedades evaluadas.

#### 3.4.1. Producción y Rendimiento

El rendimiento de las variedades de tomate se evaluó a través de la medición de la producción total obtenida en cada recolección. En cada planta, se pesaron los frutos recolectados, diferenciando entre frutos comerciales y no comerciales, de acuerdo con los criterios previamente establecidos (frutos con deformaciones o peso inferior a 80 gramos). La producción total por planta se calculó sumando el peso de todos los frutos recolectados en cada ciclo de recolección.

El peso total de los frutos se determinó utilizando una balanza de laboratorio, con precisión a gramos enteros, para evitar errores de medición y proporcionar una evaluación precisa del rendimiento. Los resultados obtenidos se expresaron en

gramos por planta (g/planta), lo que permitió comparar la producción de las diferentes líneas y variedades de tomate, y evaluar su capacidad de rendimiento bajo las condiciones de cultivo analizadas.

Este análisis es fundamental para comprender la productividad de cada variedad y su potencial en la agricultura comercial, ya que un mayor rendimiento no solo depende de la cantidad de frutos, sino también de la calidad de los mismos. La evaluación de la producción y el rendimiento es esencial para determinar la viabilidad económica y la adaptación de las variedades a las exigencias del mercado.

### 3.4.2. Características Físicas de los Frutos

Las características físicas de los frutos son cruciales para evaluar su calidad comercial, ya que influyen directamente en la apariencia y la aceptación en el mercado. Estas características se evaluaron durante cada recolección, considerando aspectos como el tamaño, el peso, la forma y la textura de los frutos, lo que permite diferenciar los grupos según su aptitud para el consumo.

El número de frutos por planta fue uno de los principales parámetros medidos, permitiendo determinar la productividad de cada planta no solo en términos de peso, sino también en cuanto a la cantidad de frutos obtenidos. Se registró el número de frutos comerciales y no comerciales en cada recolección, lo que facilitó la identificación de las líneas con mayor rendimiento en términos de cantidad de frutos, así como la calidad de los mismos.

El peso medio de los frutos también se calculó, como el promedio del peso de todos los frutos recolectados por planta a lo largo de las diferentes recolecciones. Este parámetro es especialmente relevante para evaluar la uniformidad y el tamaño de los frutos, características clave para el mercado, donde los frutos de tamaño homogéneo y adecuado suelen ser más demandados. Además, se distinguieron los frutos comerciales de los no comerciales, ya que los primeros son los que cumplen con los requisitos de tamaño y calidad, mientras que los no comerciales, debido a su menor tamaño o deformación, tienen una menor aceptación.

Estas mediciones permitieron establecer una comparación entre las distintas variedades de tomate en cuanto a sus características físicas, y evaluar su aptitud para la comercialización en función de las exigencias del mercado.

### 3.5. Análisis de Calidad de Frutos

Los caracteres de calidad se analizaron exclusivamente en frutos comerciales, ya que parámetros como el contenido de sólidos solubles y la acidez influyen directamente en el sabor y la calidad del fruto. Estos atributos dependen en gran medida del estado de

maduración, por lo que fue fundamental realizar los análisis en frutos con un grado de maduración adecuado y homogéneo.

Tras la recolección, se seleccionaron frutos maduros representativos de cada repetición, línea y orientación. Para cada repetición, se prepararon cuatro muestras compuestas por 3-4 frutos, los cuales se trocearon y trituraron utilizando una batidora doméstica. El puré resultante se transfirió a tubos Falcon de 50 ml, etiquetados con la línea y repetición correspondientes. Los tubos se almacenaron en un congelador a -18 °C para su posterior análisis.

Para evaluar el contenido de sólidos solubles y la acidez, las muestras se descongelaron a temperatura ambiente. Posteriormente, se equilibró el peso de las muestras por parejas para introducirlas en una centrifugadora durante 1 minuto a 4.000 rpm. Al finalizar este proceso, la pulpa y el sobrenadante se separaron en el tubo, permitiendo retirar la mayor cantidad posible de pulpa. Las muestras se equilibraron nuevamente y se sometieron a un segundo centrifugado de 6 minutos a 4.000 rpm para maximizar la separación de la pulpa del sobrenadante.



**Figura 10:** Tubos de centrifuga cónicos colocados en gradillas.



**Figura 11:** Centrifugadora Unicen 21 (Página web Orto alresa, 2024)

### 3.5.1. Contenido de Sólidos Solubles

Los azúcares, principalmente glucosa y fructosa, constituyen la mayor parte de los sólidos solubles en los frutos, encontrándose en proporciones similares. Estos compuestos son indicadores clave de la dulzura y calidad organoléptica del fruto. Para medir el contenido de sólidos solubles, se utilizó un refractómetro digital PAL-1 marca Atago, conocido por su precisión y fiabilidad.

Antes de las mediciones, el refractómetro fue calibrado con agua destilada para asegurar lecturas exactas. Luego, se depositaron unas gotas del sobrenadante sobre la lente del refractómetro y se registró el valor de sólidos solubles, expresado en grados °Brix. Cada muestra se midió dos veces para minimizar el error experimental y asegurar la consistencia de los resultados. El uso de mediciones repetidas permite aumentar la fiabilidad de los datos obtenidos y reducir cualquier variabilidad debido a factores externos o errores en el procedimiento.

Este análisis es fundamental, ya que el contenido en sólidos solubles no solo está relacionado con la calidad sensorial del fruto, sino que también es un parámetro de interés para la selección de variedades con mejores características organolépticas y de rendimiento.



**Figura 12:** Refractómetro digital de Bolsillo PAL-1 (Página web Atago, 2024)

### 3.5.2. Acidez Valorable



La acidez valorable se determinó utilizando el sobrenadante obtenido tras la centrifugación, el cual también se utilizó para medir el contenido de sólidos solubles. La valoración de la acidez se realizó por duplicado utilizando un pHmetro pH-matic 23 CRISON, un equipo que proporciona mediciones precisas y reproducibles. Para llevar a cabo la valoración, se disolvió la muestra en agua destilada, se introdujo la sonda del pH-metro y se procedió a la valoración con una solución estándar de hidróxido de sodio (NaOH) a una concentración de 0,1 N.

La acidez se determinó calculando el volumen de NaOH necesario para neutralizar 1 ml de muestra, y el resultado se expresó en gramos de ácido por cada 100 gramos de muestra. Este parámetro es fundamental, ya que la acidez no solo influye en el sabor del fruto, dándole un toque ácido que equilibra la dulzura, sino que también afecta la conservación y el almacenamiento del producto. Un nivel adecuado de acidez contribuye a la estabilidad y la calidad sensorial, mientras que un desequilibrio puede afectar negativamente la aceptabilidad del tomate en el mercado.

Este análisis de la acidez es clave para evaluar el potencial de las variedades de tomate en términos de sabor y su idoneidad para diversos usos en la industria alimentaria, ya sea para consumo en fresco o procesamiento.



**Figura 13:** Analizador pH y acidez en conservas PH-Matic 23.

(Página web Crison Instruments, 2024)

### 3.6. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO

Se llevó a cabo un análisis de varianza (ANOVA) multifactorial considerando los genes Ty-1 y ty-5 como factores, y los genotipos Resistente y Sensible como niveles. Cuando se detectaron diferencias significativas, se aplicó el contraste post-hoc mediante el test LSD de Fisher o la gráfica de interacción, dependiendo del caso, con el fin de determinar diferencias entre las medias de los niveles. Los análisis se efectuaron utilizando el software Statgraphics Centurion XVI.II

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. PRODUCCIÓN

Se ha realizado un análisis de la varianza (ANOVA) multifactorial considerando los genes Ty-1 y ty-5 como factores y los genotipos resistentes y sensibles como niveles (Tabla 5). Los resultados muestran que existen diferencias significativas en la producción para ambos genes, indicando que la presencia o ausencia de estos genes tiene un efecto importante en la producción. Sin embargo, no se detectó una interacción significativa entre los dos genes ( $p$ -valor = 0,9200), lo que sugiere que los efectos de cada gen son independientes entre sí.

**Tabla 5:** Análisis de la varianza multifactorial para la producción

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados libertad	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Ty-1	$1,32795 \times 10^7$	1	$1,32795 \times 10^7$	20,96	0,0000
B:ty-5	$1,16049 \times 10^7$	1	$1,16049 \times 10^7$	18,32	0,0000
INTERACCIONES					
AB	6416,11	1	6416,11	0,01	0,9200
RESIDUOS	$1,0515 \times 10^8$	166	633435,35		
TOTAL (CORREGIDO)	$1,28697 \times 10^8$	169			

En la Tabla 6 se muestra el test de rango múltiple. Los resultados obtenidos coinciden con lo esperado en cuanto al comportamiento del gen Ty-1, ya que la media de producción del genotipo sensible es superior a la del resistente (Tabla 6). Sin embargo, este resultado difiere de lo obtenido por Sánchez (2023) en un estudio similar realizado simultáneamente con líneas Muchamiel, donde la producción fue mayor en las líneas con genotipo resistente para al gen Ty-1.

Para el gen ty-5 también se han encontrado diferencias estadísticamente significativas a favor del genotipo sensible, resultado que coincide con lo observado por Sánchez (2023) en sus ensayos con líneas Muchamiel.

Por otro lado, los genotipos sensibles para ambos genes muestran medias de producción en gramos significativamente superiores, siendo la media de producción de los genotipos sensibles aproximadamente un 30% mayor que la de los genotipos resistentes. Estas diferencias reflejan el impacto negativo que la resistencia conferida por los genes Ty-1 y ty-5 puede tener en la productividad en gramos por planta y confirman los resultados esperados en este ensayo.

Los resultados de este TFG sugieren que los genes Ty-1 y ty-5 tienen un efecto negativo sobre la producción.

**Tabla 6:** Test de rango múltiple LSD para la producción. Medias con distinta letra son distintas ( $p < 0,05$ ).

Gen	Genotipo	Casos	Media (g/planta)	Grupos Homogéneos
Ty-1	RR	82	1423,94	A
	ss	88	1984,24	B
ty-5	rr	86	1442,2	A
	SS	84	1965,98	B

## 4.2. NÚMERO DE FRUTOS

Los resultados obtenidos para el número de frutos muestran diferencias estadísticamente significativas entre las líneas portadoras de los genes de resistencia Ty-1 y ty-5. La interacción no es significativa.

**Tabla 7:** Análisis de la varianza multifactorial para el número de frutos recolectados por planta

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados libertad	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>					
A:Ty-1	4885,68	1	4885,68	20,19	0,0000
B:ty-5	1499,78	1	1499,78	6,20	0,0138
<b>INTERACCIONES</b>					
AB	901,357	1	901,357	3,73	0,0553
RESIDUOS	40161,6	166	241,937		
TOTAL (CORREGIDO)	47115,8	169			

Al no haberse detectado interacción significativa entre los genes Ty-1 y ty-5 para el número de frutos, se ha realizado la comparación de las medias de forma individual para cada gen mediante el test LSD (Tabla 7). Los resultados obtenidos coinciden con lo esperado, ya que las líneas sensibles presentan en ambos casos un mayor número de frutos por planta que las líneas resistentes.

En el caso del gen Ty-1, se ha observado que los genotipos sensibles presentan un número de frutos superior a las líneas resistentes (Tabla 7)

Por otro lado, para el gen ty-5 también se han encontrado diferencias significativas a favor de las líneas sensibles, lo que sugiere que la resistencia conferida por este gen puede afectar negativamente el rendimiento en términos de número de frutos por planta.

**Tabla 8:** Test de rango múltiple LSD para el número de frutos recolectados por planta. Medias con distinta letra son distintas ( $p < 0,05$ ).

Gen	Genotipo	Casos	Media (frutos/planta)	Grupos Homogéneos
Ty-1	RR	82	34,9007	A
	ss	88	45,6479	B
ty-5	rr	86	37,2971	A
	SS	84	43,2516	B

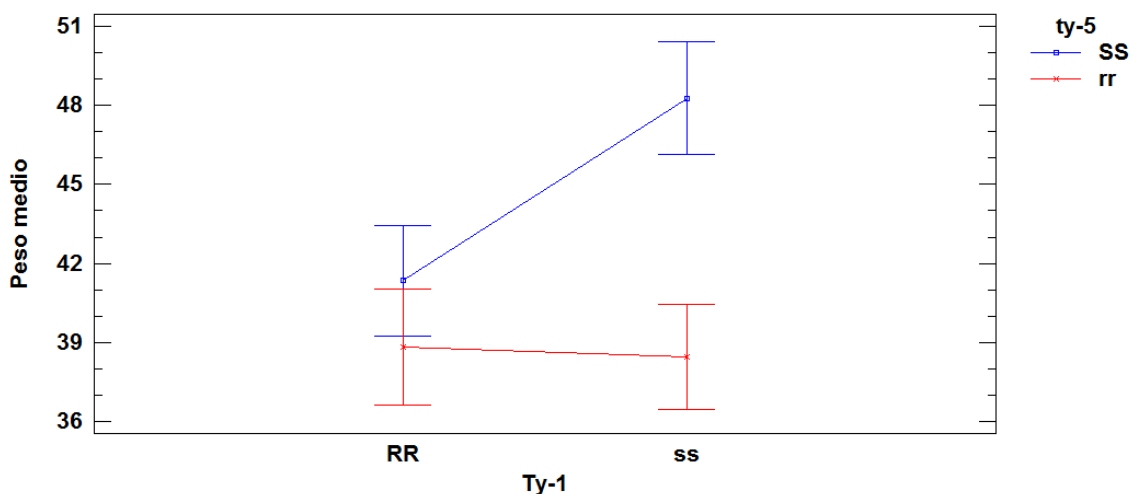
### 4.3. PESO MEDIO DE LOS FRUTOS

En la tabla 9 se presentan los resultados obtenidos del análisis de varianza para el peso medio de los frutos. El p-valor muestra diferencias significativas tanto para el gen Ty-1 como para el gen ty-5, así como una interacción significativa entre ambos genes. Estos resultados indican que no solo existe un efecto individual de cada gen en el peso medio de los frutos, sino que también hay un efecto combinado cuando los dos genes están presentes.

**Tabla 9:** Análisis de la varianza multifactorial para el peso medio de los frutos

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados libertad	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>					
A:Ty-1	453,626	1	453,626	4,74	0,0309
B:ty-5	1599,73	1	1599,73	16,71	0,0001
<b>INTERACCIONES</b>					
AB	559,088	1	559,088	5,84	0,0168
RESIDUOS	15892,2	166	95,7361		
TOTAL (CORREGIDO)	18470,2	169			

Como la interacción es significativa, se debe utilizar el gráfico de interacción (Gráfico 7). Sólo se han encontrado diferencias significativas entre el genotipo RR y ss a Ty-1, a favor del ss, cuando el genotipo a ty-5 es ss (línea azul en la Gráfica 7). Para el gen ty-5, sólo se han encontrado diferencias significativas entre los genotipos ss y RR, a favor del ss, cuando el genotipo a Ty-1 es ss. Esto se alinea con lo descrito en estudios previos como los de Rubio et al. (2016) y Cabrera (2019), que señalan que la resistencia conferida por estos genes puede influir negativamente en el peso medio de los frutos.



**Gráfica 7:** Gráfico de interacción del peso medio de los frutos (gramos).

## 4.4. SÓLIDOS SOLUBLES

En la tabla 10 se muestran los resultados obtenidos del análisis de varianza multifactorial para el contenido en sólidos solubles. Los p-valores obtenidos para los factores Ty-1 y ty-5 son superiores a 0,05, lo que indica que no existen diferencias significativas entre las líneas portadoras y las líneas sensibles para estos genes. Del mismo modo, el p-valor de las interacciones es también superior a 0,05, por lo que no se detecta interacción significativa entre ambos genes en relación con el contenido en sólidos solubles.

**Tabla 10:** Análisis de la varianza multifactorial para el contenido de sólidos solubles.

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados libertad	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Ty-1	0,00319363	1	0,00319363	0,02	0,9001
B:ty-5	0,592266	1	0,592266	2,93	0,0892
INTERACCIONES					
AB	0,321614	1	0,321614	1,59	0,2092
RESIDUOS	24,8278	123	0,201852		
TOTAL (CORREGIDO)	25,7369	126			

En la tabla 11 de comparación de medias mediante el test LSD se observa que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los distintos genotipos para el contenido en sólidos solubles. Las medias obtenidas para los genotipos resistentes y sensibles de ambos genes son muy próximas, lo que refuerza la interpretación de que la introgresión de estos genes no tiene un impacto relevante sobre este parámetro.

**Tabla 11:** Test de rango múltiple LSD para el contenido de sólidos solubles. Medias con distinta letra son distintas ( $p < 0,05$ ).

Gen	Genotipo	Casos	Media (°Brix)	Grupos Homogéneos
Ty-1	RR	63	5,72669	A
	ss	64	5,73672	A
ty-5	rr	63	5,66341	A
	SS	64	5,8	A

Los resultados obtenidos para los sólidos solubles muestran que, a diferencia de otros caracteres analizados, no existen diferencias significativas entre los genotipos resistentes y sensibles para los genes Ty-1 y ty-5, ni tampoco interacciones significativas entre ambos genes. Las medias de contenido en sólidos solubles son muy similares para los diferentes genotipos, lo que indica que la resistencia conferida por estos genes no afecta negativamente a este parámetro de calidad. Estos resultados coinciden con lo reportado en trabajos previos, como el de Rubio et al. (2016), en el que se concluye que la introducción del gen Ty-1 en líneas de tomate Muchamiel no altera significativamente el contenido en sólidos solubles.

Los resultados obtenidos en este TFG no coinciden con los de Sánchez (2023), que estudió simultáneamente líneas Muchamiel con los mismos genotipos, que encontró que los genotipos ss para los dos genes tenían menor contenido de sólidos solubles que los genotipos RR. No obstante, se recomienda realizar ensayos adicionales para confirmar la estabilidad de estos resultados en diferentes condiciones de cultivo.

## 4.5. ACIDEZ TOTAL

En la tabla 12 se muestran los resultados obtenidos del análisis de varianza multifactorial para la acidez total. El p-valor indica diferencias estadísticamente significativas para los genotipos del gen Ty-1, mientras que para el gen ty-5 no se detectan diferencias significativas. Además, no se ha encontrado interacción significativa entre ambos genes.

**Tabla 12:** Análisis de la varianza multifactorial para la acidez total.

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados libertad	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Ty-1	0,287753	1	0,287753	139,88	0,0000
B:ty-5	0,00689734	1	0,00689734	3,35	0,0695
INTERACCIONES					
AB	0,00119934	1	0,00119934	0,58	0,4466
RESIDUOS	0,253034	123	0,00205719		
TOTAL (CORREGIDO)	0,547873	126			

Mediante el test LSD de Fisher se ha realizado la comparación de medias de los genotipos estudiados. En la tabla 13 se observa que, para el gen Ty-1, existen diferencias entre los genotipos, con un mayor valor medio de acidez total en las líneas sensibles. Por el contrario, para el gen ty-5 no se encuentran diferencias significativas entre las medias de los genotipos.

**Tabla 13:** Test de rango múltiple LSD para la acidez total. Medias con distinta letra son distintas ( $p < 0,05$ ).

Gen	Genotipo	Casos	Media (%)	Grupos Homogéneos
Ty-1	RR	63	0,332056	A
	ss	64	0,427266	B
ty-5	SS	63	0,372291	A
	rr	64	0,387031	A

Estos resultados muestran que el gen Ty-1 causa efectos negativos sobre la acidez total, aunque más leves que los observados en otros caracteres productivos. Estos resultados coinciden con los de Cabrera (2019), donde se evidencia el efecto negativo de la introducción del gen Ty-1 en la acidez total, y con lo descrito por Rubio et al. (2016), que también sugiere un impacto negativo de este gen sobre la acidez.

En cuanto al gen ty-5, los resultados no muestran ningún efecto significativo sobre la acidez total. Se considera necesario realizar ensayos adicionales para confirmar la estabilidad de estos resultados y profundizar en la influencia de ambos genes sobre la calidad organoléptica del fruto.

Los resultados obtenidos en este TFG coinciden con los de Sánchez (2023), que estudió simultáneamente líneas Muchamiel con los mismos genotipos.



## 5. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este ensayo revelan un efecto negativo de la introgresión de los genes Ty-1 y ty-5 sobre los caracteres productivos. En concreto, ambos genes han mostrado reducir significativamente la producción total y el número de frutos por planta, siendo las líneas sensibles aproximadamente un 30% más productivas en gramos por planta que las resistentes.

En cuanto al peso medio de los frutos, también se han detectado diferencias significativas atribuibles a ambos genes, a favor del genotipo ss, pero sólo cuando el genotipo para el otro gen también es ss.

Respecto a la calidad del fruto, se ha observado que el gen Ty-1 afecta significativamente a la acidez total, aumentando su valor en las líneas sensibles, mientras que el gen ty-5 no muestra efecto significativo sobre este parámetro.

En el contenido de sólidos solubles no se han encontrado diferencias significativas asociadas a ninguno de los dos genes, por lo que se concluye que su introgresión no afecta a este carácter.

Estos resultados confirman los efectos negativos de ambos genes sobre los caracteres productivos y, en el caso del gen Ty-1, también sobre la acidez. Se recomienda repetir el ensayo en futuras campañas para verificar la consistencia de estos resultados en diferentes condiciones de cultivo.

Desde el punto de vista agronómico, estos resultados resaltan la importancia de seguir desarrollando estrategias de mejora que permitan mantener la resistencia al virus sin penalizar el rendimiento, contribuyendo así a la obtención de variedades tradicionales más competitivas y adaptadas a las condiciones de cultivo actuales.

## 6. REFERENCIAS

- (n.d.). USDA.gov. Retrieved March 20, 2024, from <https://www.usda.gov/>
- Alcubirre Pueyo, L. (2016, 7). *CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA Y AGRONÓMICA DE UNA COLECCIÓN DE VARIEDADES TRADICIONALES DE TOMATE*. <http://hdl.handle.net/10251/68877>
- Alvarez, M., Moya, C., Florido, M., & Plana, D. (2003). RESULTADOS DE LA MEJORA GENÉTICA DEL TOMATE (*Lycopersicon esculentum* Mill.) Y SU INCIDENCIA EN LA PRODUCCIÓN HORTÍCOLA DE CUBA. *Cultivos Tropicales*, 24(3), 63-70. <https://www.redalyc.org/pdf/1932/193218174011.pdf>
- Alvarez Gil, M. (2011). a selección asistida por marcadores (MAS, “Markerassisted selection”) en el mejoramiento genético del tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Cultivos tropicales*, 32(2), 154-171. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0258-59362011000200006&script=sci\\_arttext](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0258-59362011000200006&script=sci_arttext)
- *base de datos FAOSTAT*. (2025). FAOSTAT. Retrieved February 7, 2024, from <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL>
- Bergougnoux, V. (2014). The history of tomato: From domestication to biopharming. *Biotechnology Advances*, 32(1), 170-189. 10.1016/j.biotechadv.2013.11.003
- Blanca, J., Montero-Pau, J., Sauvage, C., Bauchet, G., Illa, E., Díez, M. M., Francis, D., Causse, M., van der Knaap, E., & Cañizares, J. (2015). Genomic variation in tomato, from wild ancestors to contemporary breeding accessions. *BMC Genomics*, 16(257), 1-19. 10.1186/s12864-015-1444-1
- Capobianco-Uriate, M. d. I. M., Aparicio, J., De Pablo-Valenciano, J., & Casado Belmonte, M. d. P. (2021). The European tomato market. An approach by export competitiveness maps. *PloS one*, 16(5), 1-27. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0250867>
- Carbonell, P. (2017). Programa de mejora genética de variedades tradicionales de tomate en la Universidad Miguel Hernández de Elche: pasado, presente y

futuro. *Revista Doctorado UMH*, 3(1), 3.  
<https://revistas.innovacionumh.es/index.php/doctorado/article/view/634/985>

- Carbonell, P. (2018). Programa de mejora genética de variedades tradicionales de tomate en la Universidad Miguel Hernández de Elche: pasado, presente y futuro. *Revista Doctorado UMH*, 3(1), 3-12.  
file:///C:/Users/34691/Downloads/eduardaguilar,+3.+Revista+Doctorado+UMH+-+Pedro+Carbonell\_definitivo.pdf
- Carbonell, P., Alonso, A., Grau, A., Salinas, J. F., Gracia-Martinez, S., & Ruiz, J. J. (2018, 2 27). Twenty Years of Tomato Breeding at EPSO-UMH: Transfer Resistance from Wild Types to Local Landraces—From the First Molecular Markers to Genotyping by Sequencing (GBS). *Diversity*, 10(12). 10.3390/d10010012
- Czosnek, H., & Laterrot, H. (1997). A worldwide survey of tomato yellow leaf curl viruses. *Archives of virology*, 142, 1391-1406. 10.1007/s007050050168
- Ferrin, D. (2010, 3 22). *tomato yellow leaf curl virus (TYLCV) (Begomovirus Tomato yellow leaf curl virus)* [TYLCV on greenhouse-grown tomatoes.]. <https://www.invasive.org/browse/detail.cfm?imgnum=5411489>
- Foolad, M. R. (2007). Genome Mapping and Molecular Breeding of Tomato. *International Journal of Plant Genomics*, 2007. 10.1155/2007/64358
- García-Martinez, S., Grau, A., Alonso, A., Rubio, F., Valero, M., & Ruiz, J. J. (2012, 1 1). UMH 1203, a Multiple Virus-resistant Fresh-market Tomato Breeding Line for Open-field Conditions. *HortScience*, 47(1), 124-125. 10.21273/HORTSCI.47.1.124
- Jenkins, J. A. (1948, Octubre). The Origin of the Cultivated Tomato. *Economic Botany*, 2, 379-392. 10.1007/BF02859492
- León, J. (2000). *Botánica de los cultivos tropicales* (3ª ed.). Editorial Agroamérica, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.
- Lin, T., Zhu, G., Zhang, J., Xu, X., Yu, Q., Zheng, Z., Zhang, Z., Lun, Y., Li, S., Wang, X., Huang, Z., Li, J., Zhang, C., Wang, T., Zhang, Y., Wang, A., Zhang, Y., Lin, K., Li, C., ... Huang, S. (2014, Noviembre). Genomic analyses provide

insights into the history of tomato breeding. *Nature Genetics*, 46(11), 1220-1226. 10.1038/ng.3117

- Moriones, E., & Navas-Castillo, J. (2000). Tomato yellow leaf curl virus, an emerging virus complex causing epidemics worldwide. *Virus Research*, 71(1-2), 123-134. [https://doi.org/10.1016/S0168-1702\(00\)00193-3](https://doi.org/10.1016/S0168-1702(00)00193-3)
- Peralta, I. E., & Spooner, D. M. (2000, Diciembre). Classification of wild tomatoes: a review. *Kurtziana*, 28(1), 45-54. Repositorio Institucional CONICET Digital.  
[https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/152176/CONICET\\_Digital\\_Nro.201e0b41-b9fb-4b1f-aa21-909ea58e1500\\_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/152176/CONICET_Digital_Nro.201e0b41-b9fb-4b1f-aa21-909ea58e1500_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y)
- Razifard, H., Ramos, A., Della Valle, A. L., Bodary, C., Goetz, E., Manser, E. J., Li, X., Zhang, L., Visa, S., Tieman, D., van der Knaap, E., & Caicedo, A. L. (2020, Enero). Genomic Evidence for Complex Domestication History of the Cultivated Tomato in Latin America. *Molecular biology and evolution*, 37(4), 1118-1132. 10.1093/molbev/msz297
- Roselló, J., Domínguez, A., & Rodrigo, M. I. (1998). Tipificación y estudio productivo de diversas variedades tradicionales de tomate, calabaza y melón, cultivados con métodos ecológicos. In *III Congreso SEAE: Una alternativa para el mundo rural del tercer milenio.*, 315-322. [https://redivia.gva.es/bitstream/handle/20.500.11939/7256/1998\\_Rosell%c3%b3\\_Tipificaci%c3%b3n.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://redivia.gva.es/bitstream/handle/20.500.11939/7256/1998_Rosell%c3%b3_Tipificaci%c3%b3n.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Rubio, F., García-Martínez, S., Alonso, A., Grau, A., Valero, M., & Ruiz, J. J. (2010). Introgressing Resistance Genes into Traditional Tomato Cultivars: Effects on Yield and Quality. *XXVIII International Horticultural Congress on Science and Horticulture for People (IHC2010)*, 935, 29-33. 10.17660/ActaHortic.2012.935.3
- Ruiz de Galarreta Gómez, J. I., Prohens, J., & Tierno, R. (2016). *Las variedades locales en la mejora genética de las plantas*. Eusko Jaurlaritzaren Argitalpen Zerbitzu Nagusia = Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco.  
<https://neiker.eus//wp-content/uploads/2023/06/Variedades-locales-en-mejora-vegetal.pdf#page=368>

## FIGURAS

### **Figura 6**

Ferrin, D. (2010, 3 22). *tomato yellow leaf curl virus (TYLCV) (Begomovirus Tomato yellow leaf curl virus)* [TYLCV on greenhouse-grown tomatoes.].

### **Figura 7**

Ferrin, D. (2010, 3 22). *tomato yellow leaf curl virus (TYLCV) (Begomovirus Tomato yellow leaf curl virus)* [TYLCV on greenhouse-grown tomatoes.].

### **Figura 11**

Página web ATAGO, 2024  
[www.atago.net](http://www.atago.net)

### **Figura 12**

Página web ATAGO, 2024  
[www.atago.net](http://www.atago.net)



### **Figura 13**

Página web CRISON INSTRUMENTS, 2024  
[www.crisoninstruments.com](http://www.crisoninstruments.com)

## TABLAS

### **Tabla 1**

United States department of Agriculture, 2025  
<https://www.usda.gov/>

### **Tabla 4**

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. (2025). Registro de productos fitosanitarios.

<https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/temas/sanidad-vegetal/productos-fitosanitarios/registro-productos/>

## GRÁFICAS

### **Gráfica 1**

Base de datos de la FAO, 2025

<https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>

### **Gráfica 2**

Base de datos de la FAO, 2025

<https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>

### **Gráfica 3**

Base de datos de la FAO, 2025

<https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>

### **Gráfica 4**

Base de datos de la FAO, 2025

<https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>

### **Gráfica 5**

Base de datos de la FAO, 2025

<https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>

### **Gráfica 6**

Base de datos de la FAO, 2025

<https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>

