

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ORIHUELA

**GRADO EN INGENIERÍA AGROALIMENTARIA Y
AGROAMBIENTAL**



UNIVERSITAS
Miguel Hernández

**“ESTUDIO DEL EFECTO DE LA INTRODUCCIÓN DE GENES DE
RESISTENCIA A TYLCV (*Ty-1* y *ty-5*) EN LÍNEAS DE MEJORA DE
TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.) MUCHAMIEL”**

TRABAJO DE FIN DE GRADO

Marzo 2025

AUTOR: Sergio Martínez Martínez

TUTOR: D. Santiago García Martínez

COTUTOR: D. José Ángel Cabrera Miras

ESTUDIO DEL EFECTO DE LA INTRODUCCIÓN DE GENES DE RESISTENCIA A TYLCV (Ty-1 y ty-5) EN LÍNEAS DE MEJORA DE TOMATE (*Solanum lycopersicum L.*) " MUCHAMIEL "

RESUMEN:

En el Programa de Mejora de Variedades Tradicionales de Tomate del CIAGRO-UMH, se logró incorporar con éxito en las líneas Muchamiel los genes *Tm-2a* (que proporciona resistencia al ToMV), *Sw-5* (que otorga resistencia al TSWV) y *Ty-1* (que brinda tolerancia al TYLCV). No obstante, se ha detectado que la inclusión del gen *Ty-1* tiene efectos negativos, ya que las líneas mejoradas con este gen muestran características agronómicas y organolépticas inferiores en comparación con sus progenitores. Por ello, se está considerando la posibilidad de explorar alternativas, entre ellas la incorporación del gen *ty-5*, que también ofrece tolerancia al TYLCV.

Este estudio analiza el impacto de la introducción de los genes *Ty-1* y *ty-5* en dos líneas de tomate Muchamiel procedentes del programa de mejora. Para ello, se evaluaron características agronómicas (como el número de frutos por planta, el peso promedio de los frutos y la producción total) y de calidad (incluyendo el contenido de sólidos solubles y la acidez valorable).

Una vez analizados los resultados obtenidos en este ensayo podemos ver que el gen *Ty-1* tiene ningún efecto negativo sobre la producción, peso medio y acidez total, mientras que no lo tiene sobre el número de frutos y sólidos solubles. En el caso del gen *ty-5*, los resultados muestran que este sí tiene un efecto negativo sobre la producción, número de frutos, peso medio y acidez total, siendo poco apreciable en cuanto al número de frutos y a la acidez total y no teniendo efecto negativo en el parámetro de sólidos solubles totales.

Palabras clave: Muchamiel, genes de resistencia, mejora genética, Ty-1, ty-5.

STUDY OF THE EFFECT OF THE INTRODUCTION OF TYLCV RESISTANCE GENES (Ty-1 and ty-5) IN TOMATO (*Solanum lycopersicum L.*) MUCHAMIEL BREEDING LINES

ABSTRACT:

In the CIAGRO-UMH's Traditional Tomato Varieties Improvement Program, the genes Tm-2a (which provides resistance to ToMV), Sw-5 (which provides resistance to TSWV) and *Ty-1* (which provides tolerance to TYLCV) were successfully incorporated into the Muchamiel lines. However, it has been detected that the inclusion of the *Ty-1* gene has negative effects, since the lines improved with this gene show inferior agronomic and organoleptic characteristics compared to their parents. Therefore, the possibility of exploring alternatives is being considered, including the incorporation of the *ty-5* gene, which also offers tolerance to TYLCV.

This study analyzes the impact of the introduction of the *Ty-1* and *ty-5* genes in two Muchamiel tomato lines from the breeding program. To this end, agronomic characteristics (such as the number of fruits per plant, average fruit weight and total production) and quality characteristics (including soluble solids content and titratable acidity) were evaluated.

Once the results obtained in this trial have been analyzed, we can see that the *Ty-1* gene has no negative effect on production, average weight and total acidity, while it does not have any negative effect on the number of fruits and soluble solids. In the case of the *ty-5* gene, the results show that it does have a negative effect on production, number of fruits, average weight and total acidity, being little noticeable in terms of the number of fruits and total acidity and having no negative effect on the parameter of total soluble solids.

Key words: Muchamiel, resistance genes, breeding, Ty-1, ty-5.

ÍNDICE:

1 INTRODUCCIÓN

1.1. ORIGEN Y EVOLUCIÓN DEL TOMATE

1.1.1. Domesticación

1.1.2. Distribución del tomate a nivel mundial

1.2. SITUACIÓN TAXONÓMICA

1.3. DESCRIPCIÓN BOTÁNICA

1.4. CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS Y FISIOLÓGICAS

1.4.1. PLANTA

1.4.2. SEMILLA

1.4.3. SISTEMA RADICAL

1.4.4. SISTEMA AÉREO

1.4.4.1. TALLO

1.4.4.2. HOJAS

1.4.4.3. FLOR

1.4.4.4. FRUTO

1.4.4.4.1 COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DEL FRUTO

1.5. IMPORTANCIA ECONÓMICA DEL TOMATE

1.5.1. A NIVEL MUNDIAL

1.5.2. A NIVEL EUROPEO

1.5.3. A NIVEL NACIONAL

1.6. VARIEDADES TRADICIONALES

1.6.1. ORIGEN Y CARACTERÍSTICAS DE LAS VARIEDADES TRADICIONALES

1.6.2. EROSIÓN GENÉTICA DE LOS MATERIALES TRADICIONALES

1.6.3. CARACTERES DE CALIDAD DE LAS VARIEDADES TRADICIONALES

1.6.4. VARIEDAD DE TOMATE “MUCHAMIEL”

1.7. VIRUS DEL RIZADO AMARILLO DEL TOMATE (TYLCV, Tomato Yellow Leaf Curl Virus)

1.7.1. GENES DE RESISTENCIA AL TYLCV

1.8. PROGRAMA DE MEJORA GENÉTICA DE TOMATE DEL CIAGRO-UMH

1.8.1. EFECTO DE LA INTROGRESIÓN DE GENES DE RESISTENCIA

1.9. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN A LA QUE PERTENECE ESTE TRABAJO

2. OBJETIVOS

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. MATERIAL VEGETAL EMPLEADO

3.2. CONDICIONES DE CULTIVO

3.2.1. INSTALACIONES

3.3. PRÁCTICAS DE CULTIVO

3.3.1. SEMILLERO

3.3.2. PREPARACIÓN DEL TERRENO

3.3.3. TRANSPLANTE

3.3.4. MARCO DE PLANTACIÓN

3.3.5. ENTUTORADO Y PODA

3.3.6. FERTIRRIGACIÓN

3.3.7. TRATAMIENTOS FITOSANITARIOS

3.3.8. RECOLECCIÓN

3.4. PLANIFICACIÓN DE LOS ENSAYOS

3.5. CARACTERES ANALIZADOS EN EL ENSAYO

3.5.1. CARACTERES PRODUCTIVOS

3.5.1.1. Producción

3.5.1.2. Número de frutos

3.5.1.3. Peso medio de los frutos

3.5.2. CARACTERES DE CALIDAD

3.5.2.1. Sólidos solubles

3.5.2.2. Acidez

3.6. TRATAMIENTOS ESTADÍSTICOS

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. ANÁLISIS DE BONDAD DE AJUSTE

4.2. CARACTERES PRODUCTIVOS

4.2.1. PRODUCCIÓN

4.2.2. NÚMERO DE FRUTOS POR PLANTA

4.2.3. PESO MEDIO DE LOS FRUTOS

4.3 CARACTERES DE CALIDAD

4.3.1 SÓLIDOS SOLUBLES

4.3.2 ACIDEZ

5. CONCLUSIONES

6. BIBLIOGRAFÍA

1. INTRODUCCIÓN

1.1. ORIGEN Y EVOLUCIÓN DEL TOMATE

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) se cree que tiene su origen en Sudamérica, específicamente en la región noroeste de la cordillera de los Andes, que abarca los territorios de Chile, Perú, Bolivia, Ecuador y Colombia (Nuez, 1995). Esta afirmación se basa en la presencia de una amplia diversidad de variedades silvestres de tomate y otras especies del género *Solanum* en estas áreas (Nuez).

Entre todas las formas de tomates silvestres, se sugiere que el ancestro más probable del tomate cultivado podría ser la antigua variedad botánica "cerasiforme" (*Solanum lycopersicum* L. var. *cerasiforme*), que todavía crece de forma espontánea en las regiones tropicales y subtropicales americanas (Nuez et al., 1996).

Sin embargo, algunas investigaciones basadas en secuencias genéticas sugieren una alternativa. Proponen que la antigua variedad "cerasiforme" podría haber surgido de continuas hibridaciones entre poblaciones de *S. lycopersicum* L. y *S. pimpinellifolium* L (Nesbitt y Tanksley, 2002). En esta perspectiva, *S. pimpinellifolium* L. se considera el ancestro más probable del tomate cultivado (Peralta et al., 2005; Spooner et al., 2005).

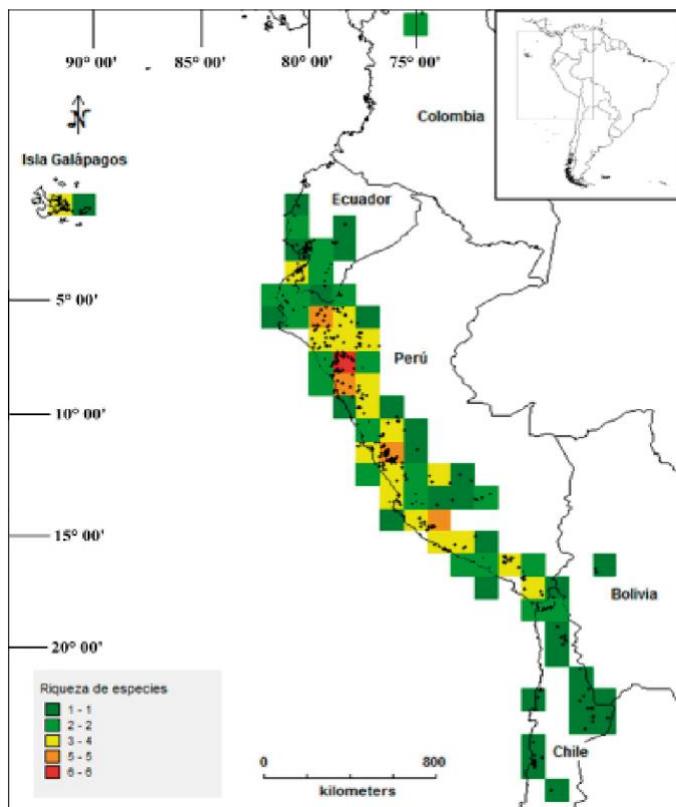


Imagen 1: Mapa de distribución de las especies de tomate.

1.1.1. Domesticación

La controversia sobre el centro de domesticación del tomate persiste, pero la mayoría de las evidencias disponibles, incluidas las históricas, lingüísticas, arqueológicas y etnobotánicas, sugieren que probablemente ocurrió en México (Esquinas-Alcázar y Nuez, 1995).

Los procesos de domesticación y migración han implicado una selección rigurosa de materiales, lo que ha llevado a importantes alteraciones en las especies. En el caso del tomate, estas alteraciones se reflejan en cambios morfológicos y fisiológicos significativos en comparación con sus especies silvestres progenitoras (Frery y Doganlar, 2003).

Los cambios más destacables en el tomate cultivado incluyen el aumento del tamaño del fruto, la aparición de morfologías diversas, el incremento del tamaño de las semillas y una mayor tendencia hacia la autogamia. Estos cambios morfológicos y fisiológicos son el resultado de procesos de selección artificial llevados a cabo por los agricultores a lo largo del tiempo.

A pesar de que la variedad morfológica de los materiales importados fue notable, los cuellos de botella genéticos asociados con los procesos de domesticación y selección han restringido significativamente la variabilidad genética de estos materiales (Rick y Fobes, 1975; Rick, 1987). Como resultado, la base genética del tomate cultivado es bastante estrecha, ya que la mayoría de los materiales cultivados en la actualidad derivan de un número limitado de materiales extraídos originalmente de América.

Hoy en día, se recurre a las especies silvestres del tomate como reservorio genético para aumentar la variabilidad genética de la especie cultivada (Fernández y Cuartero, 2005).

1.1.2. Distribución del tomate a nivel mundial

A principios del siglo XVI, con los viajes de Colón, los conquistadores introdujeron el tomate, junto con el maíz y la patata, en España (Esquinas-Alcázar y Nuez, 1995). A partir de ahí, el tomate comenzó a extenderse por la región del Mediterráneo y hacia el norte de Europa. Sin embargo, su aceptación fue desigual en las diferentes regiones.

Mientras que en España e Italia se empleaba para la alimentación prácticamente desde su introducción, en Europa solo se cultivaba con fines terapéuticos o como planta ornamental hasta principios del siglo XIX. Esto se debía a la asociación del tomate con otras plantas de la familia de las Solanáceas, algunas de las cuales eran reconocidas por su toxicidad debido a su contenido de alcaloides (Esquinas-Alcázar y Nuez, 1995).

Este contexto histórico y cultural contribuyó a la percepción inicialmente negativa del tomate en algunas partes de Europa, a pesar de su rápida adopción en otras regiones como España e Italia.

La difusión del tomate por el continente africano comenzó temprano, facilitada por diversos comerciantes que tenían rutas establecidas en todo el continente (Tindall, (1977); Vilarreal, (1980).

En cuanto al continente asiático, el tomate llegó probablemente a través de los españoles en el siglo XVII, quienes lo llevaron a Filipinas aprovechando las rutas de comercio establecidas (Esquinas-Alcázar y Nuez, 1995). Debido al creciente comercio marítimo, el tomate pronto llegó a países como China y Japón. Sin embargo, la aceptación del cultivo fue tardía en estas regiones. Aunque hay registros de su presencia a finales del siglo XVII, no se cultivaba ampliamente en el siglo XVIII (De Candolle, 1883).

En Norteamérica, los primeros tomates llegaron con los colonos europeos alrededor de 1700 (Robertson y Labate, 2007). Sin embargo, su importancia real en toda Norteamérica no se manifestó hasta finales del siglo XIX (Rick, 1978).

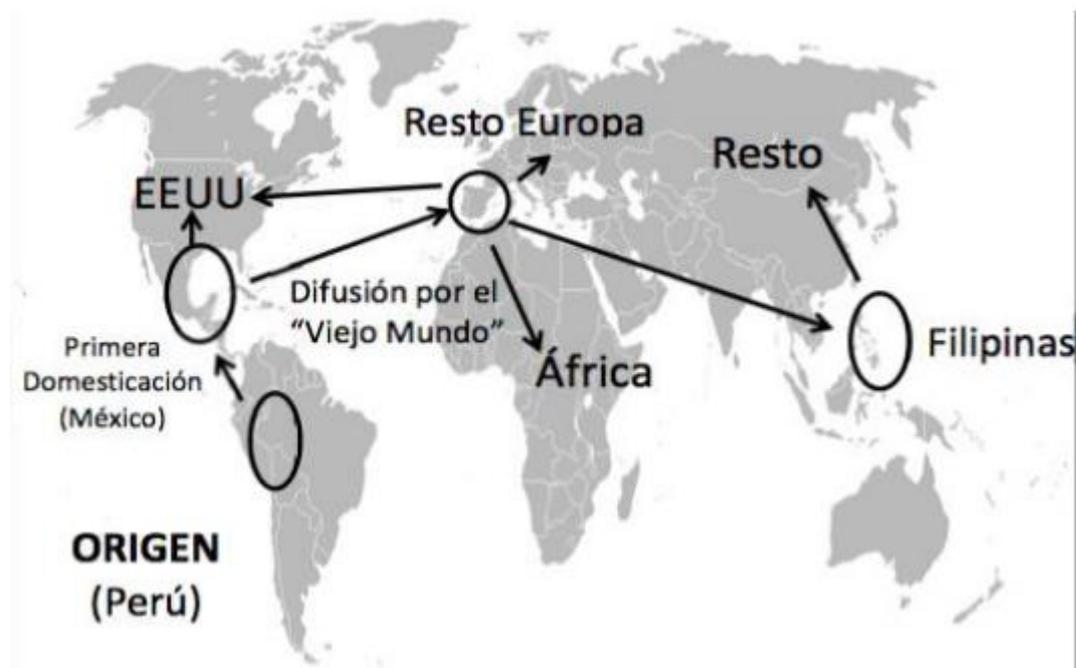


Imagen 2: Posible distribución del tomate desde el siglo XVI (Esquinas-Alcázar).

1.2. SITUACIÓN TAXONÓMICA

Pietro Andrea Mattioli fue la primera persona en realizar la descripción botánica del tomate, este pertenecía al jardín botánico de Padua (Italia). Publicó su herbario en 1554 (Nuez, 1995). Tras este acontecimiento, el tomate aparece descrito en numerosos herbarios botánicos, por ejemplo, en el de Gerard (Inglaterra) en 1597 o el de Matthias de L'Obel en 1581.

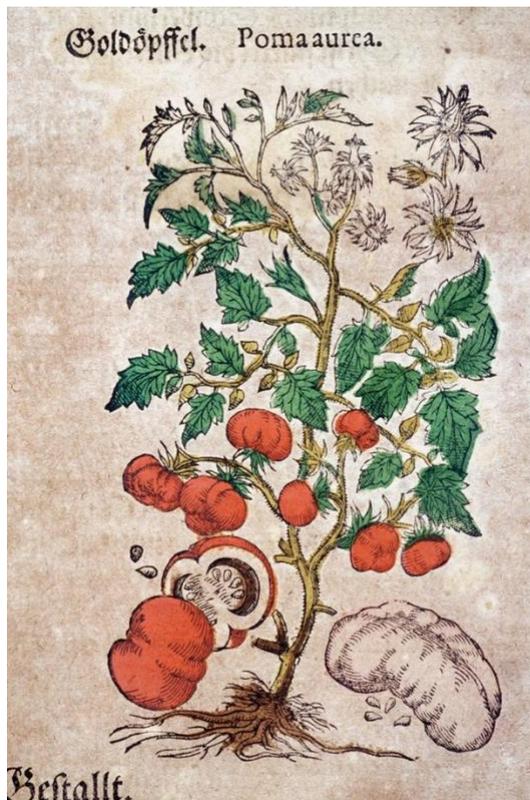


Imagen 3: Representación del tomate realizada por Pietro Andrea Mattioli, la cual apareció en su herbario de 1554.

La posición taxonómica del tomate dentro de la familia de las solanáceas ha sido motivo de debate a lo largo del tiempo. Algunos botánicos argumentaban que el género *Lycopersicum*, que incluye al tomate, era diferente de *Solanum*, mientras que otros lo consideraban parte del género *Solanum*.

Caspar Bauhin, en 1623, reconoció un grupo de plantas que incluía los géneros actuales *Solanum*, *Atropa* L., *Physalis* L., entre otros. En 1700, Tournefort estableció siete géneros, incluyendo *Lycopersicon* como uno separado de *Solanum* (Nuez, 1995).

Sin embargo, Linneo, en contra de la práctica común de su época y basándose en el trabajo de Bauhin, incluyó *Lycopersicon* dentro del género *Solanum*, nombrando al tomate *Solanum lycopersicum*.

La clasificación de Miller en 1754 estableció el género *Lycopersicon* y ubicó al tomate dentro de este, denominándolo *Lycopersicon esculentum* Mill.

Los estudios moleculares más recientes han confirmado que el tomate pertenece al género *Solanum*, específicamente dentro de la sección *Lycopersicon*. Por lo tanto, *Lycopersicon esculentum* Mill. ha sido reclasificado como *Solanum lycopersicum* L (Peralta et al., 2005).

La taxonomía más aceptada sería la siguiente:

Tabla 1: Taxonomía del tomate (Hunzinker, 1979).

Clase	<i>Dicotyledoneas</i>
Orden	<i>Solanales</i>
Familia	<i>Solanaceae</i>
Subfamilia	<i>Solanoideae</i>
Tribu	<i>Solaneae</i>
Género	<i>Lycopersicon</i>
Especie	<i>Esculentum</i>

1.3. DESCRIPCIÓN BOTÁNICA

El tomate es una planta que, aunque puede vivir varios años y tiene un porte arbustivo, se cultiva anualmente en la mayoría de las regiones. No obstante, en áreas tropicales puede comportarse como semiperenne. Su crecimiento puede manifestarse de forma rastrera, semierecta o erecta. Las variedades determinadas tienen un crecimiento limitado, mientras que las indeterminadas tienen un crecimiento ilimitado, pudiendo alcanzar hasta 10 metros en un solo año (Rick, 1978). El tomate muestra una notable adaptabilidad a una amplia variedad de condiciones, incluyendo diferentes latitudes, tipos de suelo, rangos de temperatura y métodos de cultivo. Además, es moderadamente tolerante a la salinidad. Sin embargo, ciertos factores adversos como temperaturas por debajo de los 10 grados Celsius, heladas, períodos diarios de luz inferiores a 12 horas, drenaje deficiente o exceso de fertilizante nitrogenado pueden tener un impacto negativo en su desarrollo (Rick, 1978).

1.4. CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS Y FISIOLÓGICAS

1.4.1 PLANTA

El tomate, que en su entorno natural es una planta perenne de porte arbustivo, se cultiva comúnmente en ciclos anuales. Hay diversas formas de cultivarlo, lo que influye en su tamaño y estructura. Puede crecer de manera erecta, semierecta o rastrera, con limitaciones de crecimiento variables dependiendo de la variedad y las condiciones climáticas (Saavedra, 2019).



Imagen 4: Plantas de tomate del ensayo correspondiente a este trabajo.

1.4.2. SEMILLA

La semilla del tomate tiene una forma lenticular con un diámetro que oscila entre 3 y 5 mm. Está compuesta por tres partes principales: el embrión, el endospermo y la testa. El endospermo contiene los nutrientes necesarios para el desarrollo del embrión. La testa, o cubierta seminal, está rodeada por un tejido duro e impermeable que a menudo presenta vellosidad (Maroto, 1994).

La temperatura óptima para la germinación de las semillas de tomate se sitúa entre 20 y 25°C. Además, es importante destacar que el tomate requiere niveles elevados de oxígeno para su germinación.



Imagen 5: Semillas de tomate.

1.4.3. SISTEMA RADICAL

El sistema radicular del tomate está compuesto por una raíz principal pivotante, las raíces secundarias y las raíces adventicias. En una sección transversal de la raíz se pueden distinguir tres capas: la epidermis, que contiene los pelos absorbentes, el córtex y el cilindro central, donde se encuentra el xilema, a partir del cual se forman las raíces secundarias (Picken et al., 1986).

En las variedades cultivadas, las raíces del tomate pueden extenderse superficialmente sobre un diámetro de aproximadamente 1,5 metros y alcanzar más de 0,5 metros de profundidad. Sin embargo, se estima que alrededor del 70% de las raíces se encuentran en los primeros 20 centímetros de profundidad del suelo (Varga y Bruinsma, 1986).



Imagen 6: Sistema radical de la planta del tomate, donde se observa una raíz principal pivotante que crece hacia abajo y numerosas raíces secundarias que crecen de estas.

1.4.4. SISTEMA AÉREO

1.4.4.1. TALLO

El tallo del tomate experimenta dos fases distintas de crecimiento. En las etapas iniciales, es delicado, herbáceo y cubierto de pequeños pelos. Conforme avanza el desarrollo, el tallo se vuelve decumbente, es decir, se extiende sobre el suelo, adquiriendo una consistencia semileñosa y mostrando pelos glandulares. En su estado maduro, puede alcanzar un grosor de 2 a 4 centímetros.

La estructura interna del tallo incluye la epidermis, seguida por la corteza o córtex, donde las células más externas son fotosintéticas y contienen clorofila, mientras que las internas son de tipo colenquimático, proporcionando soporte al tallo (Picken et al., 1986). Por debajo de la corteza se encuentran el cilindro vascular y el tejido medular. En el extremo superior del tallo se ubica el meristemo apical, donde se originan nuevos primordios foliares y florales.

Los entrenudos del tallo, que son los segmentos entre dos nudos o puntos de inserción de hojas, pueden tener una longitud de 1 a 6 centímetros. Además, se desarrollan tallos secundarios a partir de las axilas de las hojas, lo que contribuye al crecimiento y la ramificación de la planta.



Imagen 7: Tallo de una planta de tomate.

1.4.4.2. HOJAS

Las hojas del tomate crecen de forma alterna al tallo. Las dos primeras hojas son simples, mientras que las siguientes son compuestas e imparipinnadas. Estas últimas pueden alcanzar una longitud de alrededor de 0,5 metros y una anchura ligeramente menor que su largo. Suelen tener un gran foliolo terminal y hasta 8 foliolos laterales, los cuales pueden ser compuestos a su vez.

Los foliolos suelen tener peciolo, son pubescentes y tienen bordes irregulares dentados (Coleman y Greyson, 1976; Picken et al., 1986). Los haces vasculares son prominentes, especialmente en el envés de las hojas, y están compuestos por un nervio principal (Saavedra, 2019).



Imagen 8: Hojas de una planta de tomate.

1.4.4.3 FLOR

La flor del tomate es hermafrodita, de color amarillento y compuesta por 5 o más sépalos, 5 o más pétalos y un número igual de estambres. Los estambres están soldados y se alternan con los pétalos, formando un cono estaminal que rodea al gineceo.

Estas flores se agrupan en inflorescencias que pueden ser racimos simples o ramificados. Generalmente, estas inflorescencias contienen de 3 a 10 flores unidas al eje floral mediante un corto pedúnculo y un pedicelo articulado situado en la zona de abscisión (Sawhney y Greyson, 1972; Varga y Bruinsma, 1986).

La primera flor se desarrolla en la yema apical y las demás flores se disponen lateralmente por debajo de la primera, alrededor del eje principal. La aparición de la primera inflorescencia ocurre en el tallo a partir de la quinta hoja, y luego aparecen nuevas inflorescencias cada 2 o 3 hojas.



Imagen 9: Flor del tomate.



Imagen 10: Inflorescencia del tomate.

1.4.4.4. FRUTO

El fruto del tomate es una baya carnosa que puede ser bilocular (dividido en dos cavidades) o plurilocular (dividido en varias cavidades). Puede tener forma globular, achatada o piriforme, y se desarrolla a partir de un ovario que pesa entre 5 y 10 miligramos. El peso final del fruto puede llegar hasta 500-600 gramos y su diámetro puede variar entre 3 y 16 centímetros, dependiendo de factores como las condiciones climáticas, la variedad y el manejo del cultivo.

La estructura del fruto incluye el pericarpo, el tejido placentario y las semillas. Por lo general, el color del fruto maduro es rojo, aunque algunas variedades pueden tener tonalidades amarillas o violetas. La superficie de la baya puede ser lisa o tener surcos. En su interior, se encuentran los lóbulos carpelares, que pueden variar en número entre 2 y 30 (Nuez et al., 1997).

El periodo de desarrollo desde la fecundación del ovario hasta la maduración del fruto es de aproximadamente 7 a 9 semanas.



Imagen 11: Frutos en plantas de tomate Muchamiel.

1.4.4.4.1. COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DEL FRUTO

El tomate es principalmente agua, y su macronutriente dominante son los azúcares. Es rico en vitaminas A y C, así como en potasio. Los tomates y sus productos derivados son particularmente abundantes en licopeno, que es el pigmento responsable de su característico color rojo. Este compuesto tiene un poder antioxidante significativo. La cantidad de licopeno presente en los tomates varía según la variedad (mayor en los tipos "de pera"), el grado de madurez (mayor en los tomates maduros) y el método de cultivo y maduración (mayor en los tomates cultivados al aire libre y madurados en la planta).

El licopeno se absorbe mejor en nuestro cuerpo cuando se consume en forma de tomate triturado o cocido, especialmente cuando se combina con aceite. Además del licopeno, el tomate contiene otros carotenoides antioxidantes como la luteína y la zeaxantina.

El tomate también es una fuente importante de fitosteroles, que pueden ayudar a reducir los niveles de colesterol en la sangre al inhibir parcialmente la absorción de colesterol en el intestino.

Además, el tomate contiene un compuesto llamado tomatina, que tiene propiedades antibacterianas, antimicóticas y antiinflamatorias (MAPA).

El contenido de azúcares (sólidos solubles) y ácidos es el factor más determinante del sabor del tomate. La glucosa y la fructosa son los principales constituyentes, representando aproximadamente el 65% de los sólidos solubles totales. Un aumento en la concentración de estos azúcares resulta en un sabor más pronunciado.

Los ácidos predominantes en el tomate son el cítrico y el málico. Estos ácidos contribuyen al perfil de sabor del tomate, aportando una sensación de acidez equilibrada.

Además de los azúcares y los ácidos, el tomate también contiene minerales y otros compuestos en cantidades muy bajas. Estos componentes pueden influir en el sabor y la complejidad del tomate, aunque en menor medida en comparación con los azúcares y los ácidos.

Tabla 2: Valores nutricionales por cada 100 gramos de tomate (Moreira et al., 2013)

	Por 100 g de porción
Energía (Kcal)	22
Proteínas (g)	1
Lípidos totales (g)	0,11
• AG saturados (g)	Trazas
• AG monoinsaturados (g)	Trazas
• AG poliinsaturados (g)	0,11
• Colesterol (mg/1000 kcal)	0
Hidratos de carbono (g)	3,5
Fibra (g)	1,4
Agua (g)	94
Calcio (mg)	11
Hierro (mg)	0,6
Yodo (µg)	7
Magnesio (mg)	10
Zinc (mg)	0,22
Sodio (mg)	3
Potasio (mg)	290
Fósforo (mg)	27
Selenio (mg)	Trazas
Tiamina (mg)	0,06
Riboflavina (mg)	0,04
Equivalentes niacina (mg)	0,8
Vitamina B6 (mg)	0,11
Fosfatos (µg)	28
Vitamina C (mg)	26
Vitamina A: Eq. Retinol (µg)	82,3
Vitamina E (mg)	1,2

1.5. IMPORTANCIA ECONÓMICA DEL TOMATE

El tomate es una de las hortalizas más cultivadas y ampliamente distribuidas en todo el mundo, y también es la de mayor valor económico (Cuarteto, 2001; visto en García Martínez, 2006). Su demanda continúa aumentando, lo que impulsa su cultivo, producción y comercio en todo el mundo (Costa y Heuvelink, 2005).

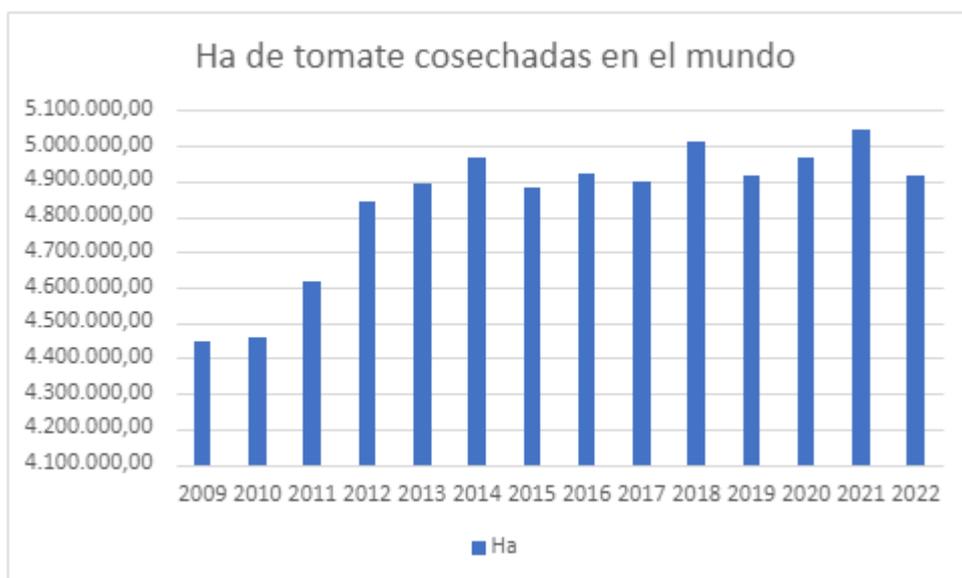
Una de las características más destacadas del tomate es su capacidad para desarrollarse en una amplia gama de condiciones, incluyendo diferentes latitudes, tipos de suelos, temperaturas y métodos de cultivo. Además, es moderadamente tolerante a la salinidad del suelo (Nuez, 1995), lo que ha facilitado su cultivo incluso en áreas con suelos menos fértiles y climas secos.

El tomate se utiliza principalmente para consumo en fresco, pero también es una importante materia prima para la producción de una variedad de productos derivados.

1.5.1. A NIVEL MUNDIAL

En el año 2022, se destinaron casi 5 millones de hectáreas para el cultivo de tomate a nivel mundial, logrando una producción que superó las 186 millones de toneladas (FAO 2022). En los últimos años, se ha observado un aumento en la producción mundial de tomate, impulsado principalmente por un incremento en el rendimiento por unidad de área.

Este aumento en el rendimiento se ha logrado mediante el uso de variedades de tomate más productivas y mediante la implementación de prácticas agrícolas mejoradas. A pesar de este aumento en la producción, la superficie cultivada de tomate no ha experimentado un aumento considerable, lo que sugiere una mejora en la eficiencia de producción y una optimización de los recursos disponibles.



Gráfica 1: Área cosechada de tomate fresco en el mundo (2009-2022).(FAO, 2025).



Gráfica 2: Producción total de tomate fresco en el mundo expresada en millones de tn. (FAO, 2025).

Según los datos presentados en las gráficas 1 y 2 de la FAO, entre los años 2005 y 2020, la producción mundial de tomate aumentó aproximadamente un 32%, mientras que el área cultivada aumentó en alrededor del 25%.

A pesar de que el tomate es cultivado en más de 100 países en todo el mundo (FAO, 2022), los diez principales productores concentran más del 70% de la producción mundial, como se muestra en la tabla 3. Esto indica que un grupo relativamente pequeño de países es responsable de la mayoría de la producción global de tomate.

Tabla 3: Países con mayor área cosechada de tomate y mayor producción de tomate en el año 2022. (FAO, 2025).

País	Producción (tn)	Área cosechada (ha)
China	68.241.811	1.137.416
India	20.694.000	843.000
Turquía	13.000.000	158.719
Estados Unidos	10.199.753	106.757
Egipto	6.275.444	143.618
Italia	6.136.380	97.610
México	4.207.889	90.696
Brasil	3.809.986	54.502
Nigeria	3.684.566	702.275
España	3.651.940	45.150

A nivel mundial, China es el país con la mayor área cosechada y la mayor producción total de tomate fresco, seguido de la India. Nigeria, Pakistán y Turquía ocupan los siguientes lugares en el ranking de área cosechada. Sin embargo, debido a los diferentes rendimientos de los países, los mayores productores después de China e India son Turquía, Estados Unidos e Italia.

Al comparar la producción total y el área cosechada de cada país, se observa que los países más desarrollados logran una mayor producción por hectárea cultivada. Por ejemplo, en el caso de España y Egipto, la producción en Egipto es aproximadamente un 25% superior a la de España, pero se requiere casi el triple de área cosechada en Egipto para lograrlo.

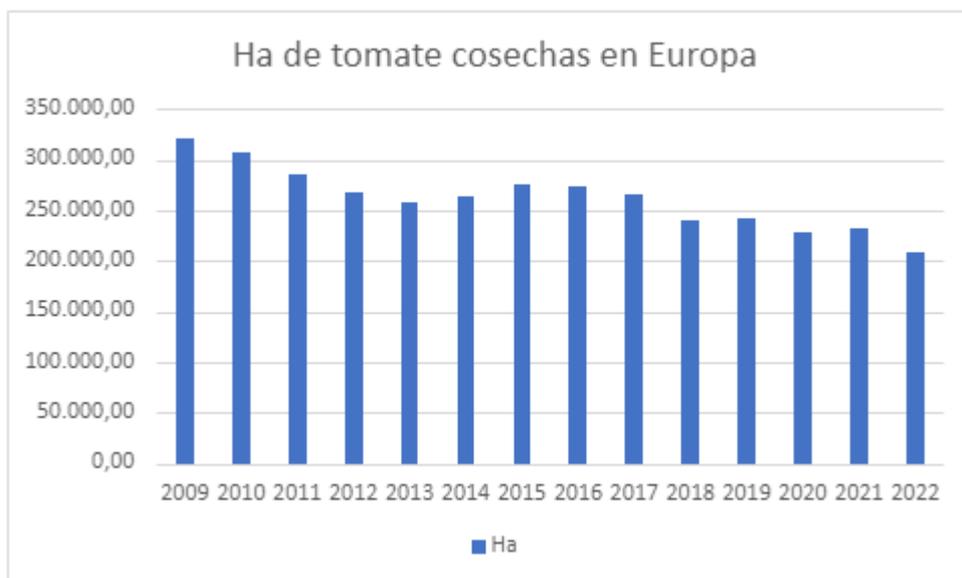
Esta diferencia en la relación entre la producción total y el área cultivada entre los distintos países se debe al avance de las tecnologías y a la mejora de los métodos y prácticas de cultivo, lo que ha permitido que los países más desarrollados alcancen mayores rendimientos, como se muestra en la tabla 4.

Tabla 4: Países con mayores rendimientos en el cultivo de tomate en el año 2022 (FAO, 2025)

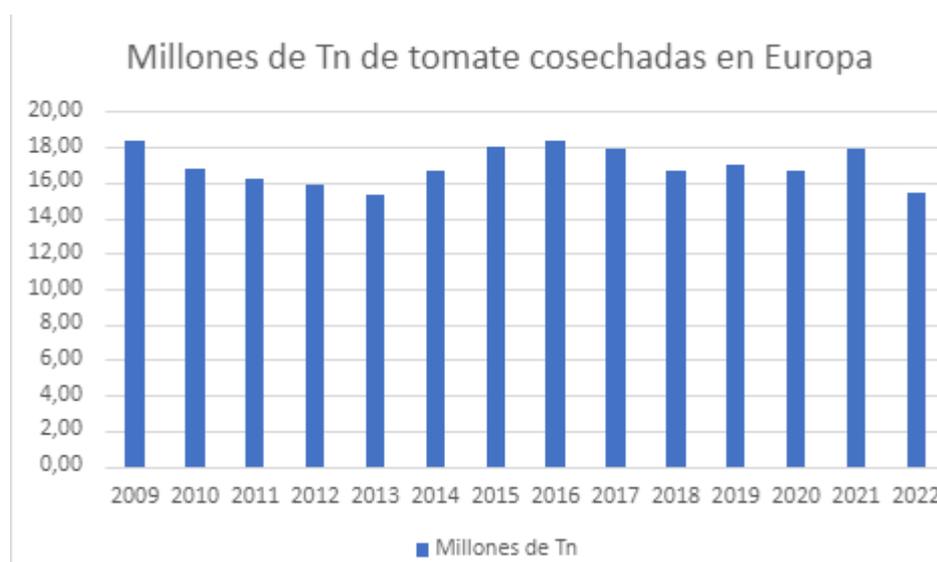
País	Kg/m ²
1 Países Bajos	42,31
2 Polonia	11,75
3 Estados Unidos	9,55
4 Marruecos	9,28
5 Portugal	8,48
6 Turquía	8,19
7 España	8,09
8 Grecia	7,98
9 Argentina	7,16
10 Argelia	6,63

1.5.2. A NIVEL EUROPEO

En Europa, según datos de la FAO, en el año 2022 se emplearon 374.666 hectáreas de tomate, con una producción total de alrededor de 20.455.777.42 toneladas. Aunque los países europeos se encuentran en condiciones favorables para alcanzar buenos rendimientos debido a su desarrollo y tecnología agrícola avanzada, se observa una tendencia de fluctuación en la producción con un ligero aumento neto a lo largo del tiempo, véase en la gráfica 4, mientras que el área cosechada ha experimentado una notable disminución de aproximadamente un 30%, como puede apreciarse en la gráfica 3.



Gráfica 3: Área cosechada de tomate fresco en Europa.



Gráfica 4: Producción total de tomate fresco en Europa expresado en millones de toneladas (2009-2022), (FAO,2025).

Según los datos de la FAO de 2022, los principales productores de tomate en Europa son Italia, con una producción de más de 6,1 millones de toneladas, seguido de España, con más de 3,6 millones de toneladas, y Rusia, con más de 2,6 millones de toneladas, cabe destacar que estas producciones han disminuido con respecto a 2021. En cuanto al área cosechada, Italia lidera la lista con más de 97,000 hectáreas, seguida de Rusia con más de 78,000 hectáreas, Ucrania con más de 51,000 hectáreas y España en cuarto lugar con más de 45,000 hectáreas.

En términos de rendimiento, los países del norte de Europa han logrado los rendimientos más altos, siendo Bélgica el país con los mayores rendimientos, seguido de Suecia, Países Bajos y Dinamarca. España ocupa el puesto número 18 en cuanto a rendimientos, mientras que Italia,

como el mayor productor, ocupa el puesto 22. Esto indica que, aunque Italia produce una gran cantidad de tomates, sus rendimientos por hectárea son relativamente bajos en comparación con otros países europeos.

1.5.3. A NIVEL NACIONAL

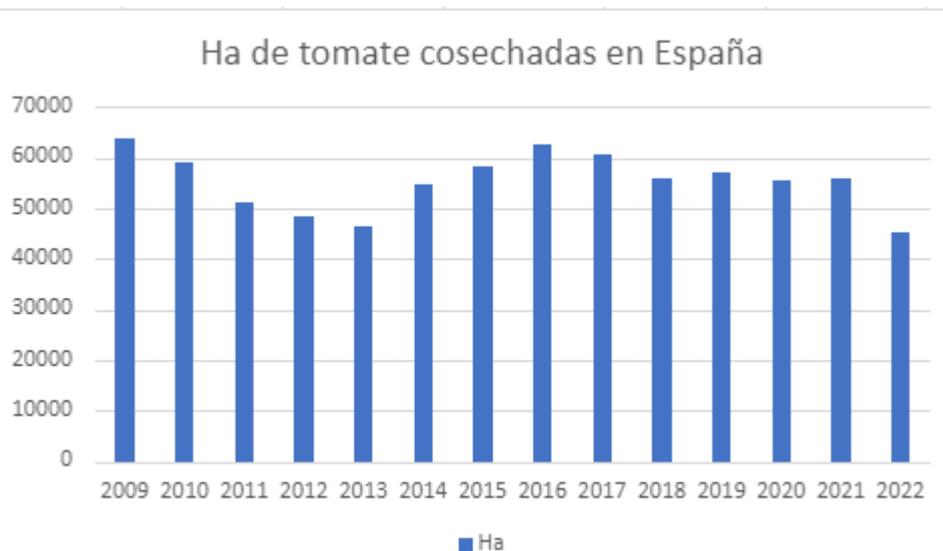
El tomate es un cultivo fundamental en la horticultura española, y su producción en el país se basa principalmente en sistemas de regadío (MAPA, 2022). A pesar de que la superficie dedicada al cultivo de tomate puede ser menor en comparación con otros cultivos como el maíz o las naranjas, su producción es excepcionalmente alta debido a su alto rendimiento por hectárea. Esto significa que, a pesar de que hay cultivos con áreas cultivadas mayores, el tomate supera en producción a muchos de ellos. Esta eficiencia en la producción hace que el tomate sea un componente vital de la agricultura española y contribuye significativamente a la economía del país.

Tabla 5: Producción, área cosechada y rendimientos de los cultivos más relevantes en España en el año 2022 (FAO, 2022)

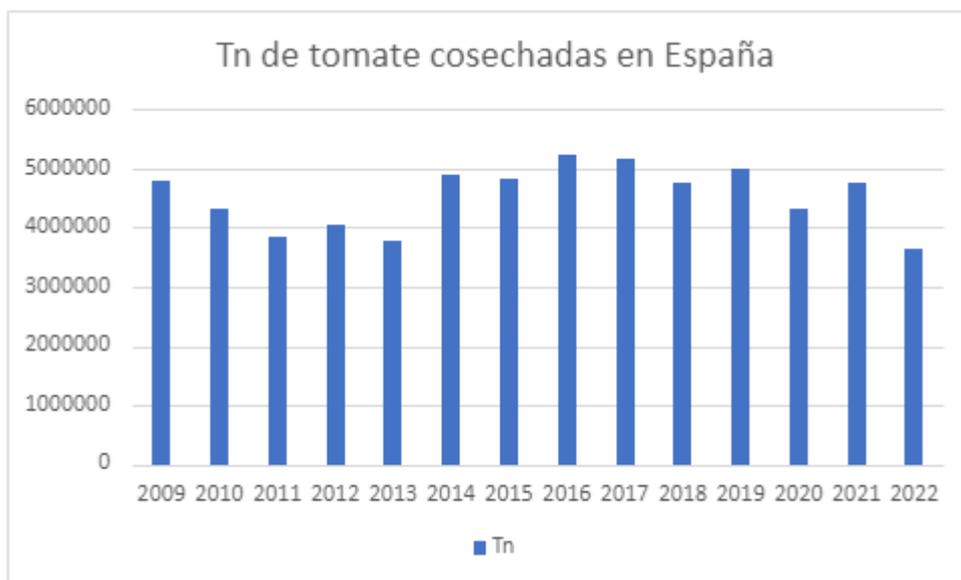
Cultivo	Producción (kg)	Área cosechada (ha)	Rendimiento (kg/ha)
Cebada	6.847.000.000	2.475.000	2.766
Trigo blando	5.987.000.000	1.950.000	3.070
Maíz (grano)	4.115.000.000	355.000	11.590
Avena	938.000.000	330.000	2.845
Girasol	737.000.000	800.000	921
Cebolla	1.300.000.000	30.000	43.333
Patata	1.975.000.000	62.000	31.855
Naranja	3.250.000.000	135.000	24.074
Aceituna (almazara)	7.535.000.000	2.850.000	2.644

En el año 2022, España produjo un total de 3,651,940 toneladas de tomate en una superficie de 45,150 hectáreas, como se muestra en las gráficas 5 y 6. Esto resultó en un rendimiento promedio de 84,733 kilogramos por hectárea. En términos de producción, España se sitúa como la cuarta productora de tomate en Europa y la séptima a nivel mundial. En cuanto al área cosechada, ocupa el cuarto puesto en Europa y el puesto 17 en el ranking mundial (FAO, 2022).

Además, España es el tercer exportador mundial de tomate, después de México y Países Bajos, y por delante de Marruecos y Turquía. En el año 2021, España exportó un total de 660,092 toneladas de tomate, según la FAO. Esto refleja la importancia de la industria del tomate en España tanto a nivel nacional como internacional.



Gráfica 5: Área cosechada de tomate fresco en España (2009-2022).

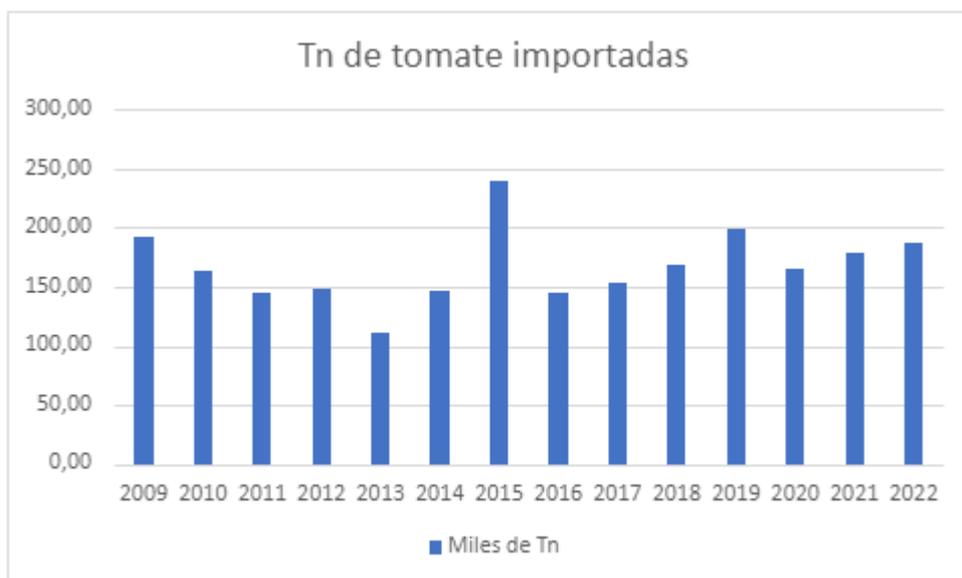


Gráfica 6: Producción total de tomate fresco cosechado en España (2009-2022).

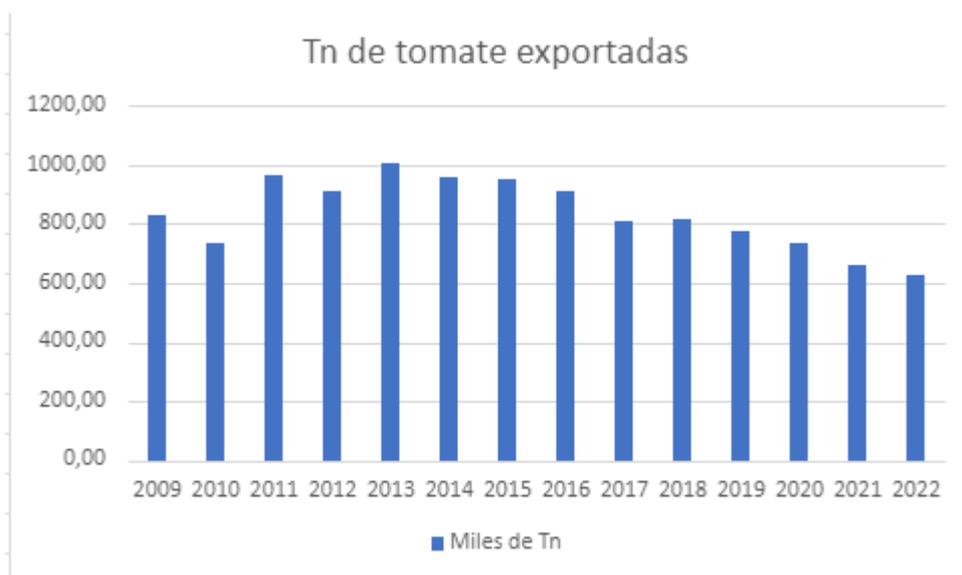
En los últimos años, tanto la producción como el área cultivada de tomate han experimentado importantes fluctuaciones. Se puede observar que las tendencias de las gráficas de producción y área cultivada son similares, lo que sugiere que las variaciones en la producción están influenciadas por los cambios en el área cosechada (ver Gráficas 5 y 6).

El período de mayor disminución se encuentra entre los años 2010 y 2013, y coincide con la aparición de nuevos mercados en países vecinos, lo que ha generado un aumento en la competencia. Desde el año 2013, tanto la producción como el área cultivada han mostrado un aumento hasta el año 2016. A partir de entonces, ha habido un estancamiento en el área cultivada, posiblemente debido a la dificultad para abrir nuevos mercados y al aumento de las

importaciones, véase en la gráfica 7, a la vez que se observa la disminución de las exportaciones, como podemos apreciar en la gráfica 8.



Gráfica 7: Importación de tomate en España expresada en miles de Tn (2009-2022).



Gráfica 8: Exportación de tomate en España expresada en miles de tn (2009-2022).

En España, varias regiones destacan por su cultivo y producción de tomate. Una de ellas es el sureste peninsular, que incluye las provincias de Alicante, Murcia y Almería, donde el tomate se cultiva principalmente en invernaderos. Otra región importante es la del Ebro, donde la producción se concentra principalmente en Navarra. Por último, las comunidades de Extremadura y Canarias sobresalen en la producción de tomate, siendo Extremadura la principal región productora de España (véase Tabla 6). En Extremadura y en la zona del Ebro,

se especializan en la producción de tomate destinado a la industria, mientras que en otras regiones el enfoque está en el tomate fresco (MAPA, 2022),

Tabla 6: Producción, área cosechada y rendimiento de las comunidades autónomas que más producen en 2022 (Anuario de estadística del MAGRAMA, 2023)

Comunidad Autónoma	Producción (t)	Superficie (ha)	Rendimiento (kg/ha)
Andalucía	1,345,600	10,85	124
Región de Murcia	570,3	4,3	132,6
Comunidad Valenciana	245,4	2,2	111,5
Canarias	112,5	1,1	102,2
Castilla-La Mancha	850	4,9	173,5
Extremadura	750	4,2	178,57
Otras CCAA	215	3,15	68,25

1.6. VARIEDADES TRADICIONALES

1.6.1. ORIGEN Y CARACTERÍSTICAS DE LAS VARIEDADES TRADICIONALES

Desde su llegada a Europa, el tomate ha experimentado una evolución en parte debido a la selección llevada a cabo por los agricultores. Estos agricultores empleaban una estrategia que consistía en reunir una combinación de semillas de diferentes plantas (principalmente basándose en características deseables) para utilizarlas en el siguiente ciclo de cultivo. Este método de selección intuitiva, similar a lo que hoy conocemos como selección masal, ha sido fundamental en el desarrollo de las variedades tradicionales (Frankel y Soulé, 1981).

Además, el tomate ha ido adaptándose a las diversas regiones donde se ha cultivado. Como resultado, las poblaciones de tomates han enfrentado distintas condiciones agroclimáticas (incluyendo las propiedades físico-químicas del suelo, las condiciones climáticas, las prácticas de manejo del agricultor y los factores bióticos presentes), lo que ha promovido una evolución diferencial mediante la adaptación a los entornos locales. Esta capacidad adaptativa es crucial para la definición de las variedades tradicionales (Frankel y Soulé, 1981).

La diversificación del cultivo de tomates se promovió gracias a la combinación de la selección artificial realizada por los agricultores y el mecanismo natural de selección y adaptación al entorno. Este proceso condujo al desarrollo progresivo de una amplia variedad de lo que hoy conocemos como variedades tradicionales o locales. El método de selección utilizado para estas variedades ha resultado en una estructura genética bastante heterogénea, lo que les otorga una mayor estabilidad frente a condiciones de estrés. Esta estabilidad proviene de la capacidad de

respuesta diferenciada al estrés entre los individuos. En los sistemas agrícolas homogéneos, todos los individuos reaccionan de manera similar a las variaciones, lo que puede llevar a desastres alimentarios si son particularmente vulnerables a una determinada variación (Ceccarelli et al., 1992; Guzmán-Casado et al., 2000; Cebolla-Cornejo, 2005).

No está claro cómo los agricultores incorporaron el sabor en sus criterios de selección, pero es evidente que las variedades tradicionales, además de adaptarse a las condiciones agroclimáticas, suelen destacarse por su alta calidad organoléptica.

A lo largo de cientos de años de evolución, las poblaciones tradicionales se modificaron y diversificaron de manera diferencial, dando lugar a numerosas variedades tradicionales. Sin embargo, esta gran diversidad ha ido disminuyendo progresivamente en los últimos dos siglos.

1.6.2. EROSIÓN GENÉTICA DE LOS MATERIALES TRADICIONALES

A mediados del siglo XIX surgieron las primeras empresas productoras de semillas, lo que dio origen a los programas formales de mejora genética. Estos programas tenían como objetivo mejorar los procesos de selección intuitiva que realizaban los agricultores, haciéndolos más adecuados y eficientes. Aprovechando la enorme diversidad existente como material de partida, comenzaron a desarrollar nuevas variedades mejoradas que, especialmente en términos de producción, superaban a las cultivadas anteriormente. Esto llevó a algunos agricultores a sustituir parcial o totalmente sus selecciones tradicionales por estas nuevas variedades.

La sustitución de las variedades tradicionales por materiales mejorados resultó en una pérdida progresiva de diversidad, fenómeno conocido como "erosión genética", que se aceleró durante el siglo XX.

El redescubrimiento de las leyes de Mendel en 1900 por los botánicos Hugo de Vries, Karl Erich Correns y Eric Von Tschermak significó un gran avance en el campo de la mejora genética vegetal. George Harrison Shull (1874-1954) logró desarrollar los primeros híbridos de maíz a partir de líneas puras y fue el pionero en describir el fenómeno de la heterosis en este cultivo. Pocos años después, H.G. Wallace identificó el potencial comercial de los híbridos, ya que las poblaciones híbridas eran incompatibles con el método tradicional de los agricultores de guardar semillas y replantarlas al año siguiente. Así, hacia los años 1930, se comenzó a trabajar intensamente en la producción de semillas híbridas F1 (Alabouette y Titard, 1933; Ashby, 1937).

El éxito de la comercialización de los híbridos de maíz despertó rápidamente el interés por desarrollar variedades híbridas en otras especies. Como resultado, unos años más tarde, se lanzó el primer híbrido comercial de tomate: el Single Cross (Dorst, 1946).

La aceleración del proceso de erosión genética ha estado estrechamente vinculada a los avances en la mejora genética. Cuanto más productivas eran las nuevas variedades comerciales, mayor era la probabilidad de que los agricultores abandonaran sus variedades tradicionales. Como resultado, las selecciones que realizaban sobre sus poblaciones y la posibilidad de que estas

continuaran evolucionando también desaparecieron. De este modo, puede afirmarse que la propia mejora genética ha sido la principal causante de la pérdida de diversidad en las variedades tradicionales, un fenómeno conocido como "la paradoja del mejorador" (Hawkes et al., 2000).

La aparición de nuevas empresas dedicadas a la producción de semillas hortícolas aumentó significativamente en Estados Unidos y Europa. Para mediados del siglo XX, las casas de semillas controlaban el mercado, concentrando los sistemas de producción de semillas en grandes mercados y causando una progresiva homogeneización de los materiales cultivados (Fernández-Cornejo, 2004; NAS, 1972). En la década de los 80, la globalización de los mercados también trajo consigo la globalización de plagas y enfermedades de los cultivos. Desde los años 40, las variedades comerciales habían ido evolucionando e incorporando genes de resistencia frente a estos agentes bióticos (Hajjar y Hodgkin, 2007). Sin embargo, las variedades tradicionales, adaptadas a los estreses bióticos específicos de sus áreas geográficas, no mostraban tolerancia o resistencia frente a los nuevos patógenos introducidos. Como resultado, eran mucho más susceptibles que los nuevos cultivares comerciales. En el caso del tomate tradicional, su baja resistencia a ciertos virus hizo que su cultivo prácticamente desapareciera en algunas zonas.

Debido al tremendo éxito de los cultivares comerciales, las casas de semillas siguen compitiendo por generar productos novedosos que satisfagan las necesidades de los agricultores y las demandas de los consumidores. Constantemente salen al mercado nuevas variedades que superan, mejoran o difieren en las cualidades de las anteriores, lo cual obliga a los agricultores a adquirir estos nuevos materiales para mantenerse competitivos. Actualmente, la gran competencia entre las empresas productoras de semillas ha beneficiado a las grandes multinacionales en detrimento de las pequeñas casas de semillas (Howard, 2009). Esta situación ha llevado a la monopolización del mercado, resultando en una homogeneización extrema de los materiales disponibles para los agricultores. Como consecuencia, la base genética de los materiales cultivados se ha reducido sustancialmente, aumentando su vulnerabilidad frente a plagas y enfermedades.

Hoy en día, las variedades tradicionales, junto con las variedades silvestres, se utilizan en proyectos de mejora genética como fuente de genes que confieren características como resistencia a enfermedades y plagas, capacidad para aumentar la producción, resistencia a estreses abióticos, calidad nutritiva, características morfológicas específicas o adaptación a condiciones adversas o ambientes marginales (Nuez y Ruiz, 1999).

Las especies y variedades menos afectadas por el proceso de erosión genética son aquellas que gozan de una valoración especial por parte de los consumidores. De hecho, su demanda ha permitido mantener una oferta mínima de estos materiales, que suelen estar asociados a mercados locales o de calidad. Sin duda, la supervivencia de estos materiales está vinculada a la continuidad de la estrecha relación entre las variedades tradicionales y los mercados de calidad.

1.6.3. CARACTERES DE CALIDAD DE LAS VARIEDADES TRADICIONALES

El empobrecimiento de la calidad organoléptica en el mercado generalista es un fenómeno complejo que está relacionado con factores genotípicos y ambientales, además de verse influenciado por las prácticas agrícolas. En el caso del tomate, existen diversos factores que contribuyen a la pérdida de calidad sensorial en las variedades modernas, como el aumento de la producción en las nuevas variedades (Bertin et al., 2000; Beckles, 2012), el cultivo fuera de estación (Esquinas-Alcázar y Nuez, 1995), el cultivo intensivo (Kameli y Lösel, 1996; Foyler et al., 1998; Thomas y James, 1999), la recolección prematura de frutos (Kader et al., 1977), el desarrollo de características de "larga vida" (Esquinas-Alcázar y Nuez, 1995) y la introgresión de fondo genético silvestre (Tanksley y Hewitt, 1988; Kinzer et al., 1990).

Durante la mayor parte de los programas de mejora desarrollados en el siglo XX, se desatendió la calidad interna de las nuevas variedades obtenidas, probablemente debido a la complejidad y dificultad que supone evaluar estos caracteres. Como consecuencia, en los procesos de selección se perdieron características favorables de las variedades originales, lo que resultó en una peor calidad interna en los materiales resultantes.

Por lo tanto, los cultivos comerciales de tomate han mostrado una calidad sensorial que no ha cumplido las expectativas de los consumidores (Bruhn et al., 1991). Este descontento con los productos ofrecidos ha llevado a las empresas a cambiar la tendencia previa que solo beneficiaba al sector comercial, respondiendo a las demandas de los consumidores. En este contexto, la recuperación de variedades tradicionales, conocidas por su destacada calidad organoléptica, se presenta como una alternativa a los productos derivados de la agricultura convencional.

De este modo, las variedades tradicionales han continuado siendo cultivadas, ocupando un nicho comercial que se enfoca en satisfacer las necesidades de los clientes que prefieren productos de mayor calidad, aunque esto implique pagar un precio más alto (Grasselly et al., 2000). Este tipo de mercado se conoce como mercado de calidad. Aunque las variedades tradicionales no alcanzan los altos rendimientos de las variedades modernas, compensan su menor producción con un precio de producto superior.

1.6.4. VARIEDAD DE TOMATE “MUCHAMIEL”

El tomate "Muchamiel" o "Mutxamel", originario de la localidad alicantina de Muchamiel, es una de las variedades tradicionales más reconocidas y valoradas en España. Se cultiva principalmente en las regiones de Alicante, Valencia y Murcia. Su principal característica distintiva es su alta calidad organoléptica, lo que lo hace ideal para el consumo fresco.

No hay un único tipo específico de tomate "Muchamiel", sino que existen ligeras variantes que mantienen cierta diversidad, resultado de la selección realizada por los agricultores a lo largo de muchos años. Como se puede apreciar en la descripción, los frutos son grandes, aplastados y tienen cierta rugosidad. Presentan un marcado acostillamiento y unos hombros (la zona

cercana al pedúnculo) de color verdoso al momento de la recolección. Es común que puedan tener grietas de diferente intensidad según su grado de maduración. El sabor de este tomate es suave y tiene una textura melosa (Nuez y Ruiz, 1999).



IMAGEN 12: Tomates de la variedad "*Muchamiel*" en su estado óptimo de maduración para el consumo

El tomate "Muchamiel" es sensible a los tres principales virus que afectan a los tomates en la zona: ToMV (Virus del Mosaico del Tomate), TYLCV (Virus del Crinivirus del Tomate) y TSWV (Virus del Bronceado Severo del Tomate). Esta sensibilidad hace que su cultivo sea prácticamente inviable y lo pone en riesgo al no ser rentable para los agricultores. En consecuencia, en los últimos años se ha optado por sustituirlo con nuevas líneas de híbridos resistentes obtenidos a partir de la variedad tradicional "Muchamiel". Sin embargo, esta sustitución conlleva una pérdida significativa de la calidad organoléptica que caracteriza a los cultivos híbridos (Nuez et al., 1998).

1.7. VIRUS DEL RIZADO AMARILLO DEL TOMATE (TYLCV, Tomato Yellow Leaf Curl Virus)

El virus del rizado amarillo del tomate, también conocido como virus de la cuchara, fue identificado por primera vez en Israel entre 1939 y 1940 (Cohen y Antignus, 1994). En 1948 se describieron sus síntomas característicos (Vasudeva y Sam Raj, 1948), que incluyen enanismo de las plantas, curvamiento hacia arriba de las hojas, aclaramiento de las nervaduras, ramificación excesiva y retraso en el crecimiento. Además, se observan síntomas de mosaico que pueden variar de leves a graves, así como una esterilidad parcial o total de las plantas (Imagen 13).

En 1959, en el Valle del Jordán, este virus causó la pérdida del 100% de los cultivos de tomate (Cohen y Antignus, 1994). En 1964, se determinó que el vector transmisor del virus es la *Bemisia tabaci*, conocida popularmente como mosca blanca (Cohen y Harpaz, 1964). En 1987, el virus se propagó desde Israel a la República Dominicana (Polston et al., 1994), en 1988 apareció en Italia (Gallitelli et al., 1991), y en 1992 fue detectado en invernaderos de Murcia y Almería en España (Moriones et al., 1993; Reina et al., 1994).



Imagen 13: Síntomas del virus de la cuchara (TYLCV) en planta de tomate, apreciando también a la mosca blanca "*bemisia tabaci*", vector que trasmite dicho virus.

1.7.1. GENES DE RESISTENCIA AL TYLCV

Los genes mencionados en la tabla 7 proporcionan tolerancia al Virus del Crinivirus del Tomate (TYLCV), ya que hasta ahora no se han desarrollado materiales con resistencia total al virus. Dado que el TYLCV representa un problema tanto para variedades comerciales como tradicionales de tomate, y las medidas preventivas contra la mosca blanca (*Bemisia tabaci*) no son completamente efectivas, la resistencia genética se presenta como la mejor estrategia de control.

Una de las alternativas prometedoras es aumentar los niveles de resistencia mediante la combinación de diferentes genes. De esta manera, la planta tendrá múltiples barreras para defenderse contra la infección viral (Cabrera et al., 2021). Este enfoque podría ofrecer una solución más robusta y sostenible frente al TYLCV en los cultivos de tomate.

Tabla 7: Locus de resistencia al TYLCV identificados en especies silvestres.

Gen	Especie	Accesión	Cromosoma	Referencia
Ty-1	<i>S. chilense</i>	LA1969	6	Zamir et al., 1994
Ty-2	<i>S. habrochaites</i>	B6013	11	Hanson et al., 2006
Ty-3	<i>S. chilense</i>	LA1932, LA2779	6	Ji et al., 2007a
Ty-4	<i>S. chilense</i>	LA1932	3	Ji et al., 2009
Ty-5	<i>S. peruvianum</i>	TY172	4	Anbinder et al., 2009
Ty-6	<i>S. chilense</i>	LA1938	10	Scotty y Hutton, 2015

1.8. PROGRAMA DE MEJORA GENÉTICA DE TOMATE DEL CIAGRO-UMH

La mejora genética vegetal se define como el proceso mediante el cual se crean nuevas variedades de plantas cultivadas al transformar su genotipo (Frankel, 1958). Este proceso tiene como objetivo mejorar el rendimiento de las plantas, ya sea aumentando su producción, mejorando su calidad o facilitando su cultivo (Hoyos et al., 2005). Todo programa de mejora genética de variedades se fundamenta en la búsqueda de genes de interés para introducir en una variedad, con el fin de conferirle características específicas.

En el caso del tomate, la mejora genética se realiza mediante hibridaciones entre distintas variedades con el propósito de combinar las cualidades deseables de sus progenitores. Sin embargo, una dificultad significativa radica en la baja variabilidad genética presente en los materiales comerciales disponibles. Para abordar esta problemática, se recurre al cruce de variedades comerciales con especies silvestres relacionadas, las cuales poseen una mayor variabilidad genética.

Este enfoque permite introducir nuevos genes y aumentar la diversidad genética en las poblaciones de tomates mejorados, lo que a su vez facilita la obtención de variedades con características mejoradas, como resistencia a enfermedades, adaptación a diferentes condiciones ambientales y calidad mejorada de los frutos.

Para aprovechar una mayor proporción de la diversidad genética disponible en tomates y otras especies relacionadas, una alternativa viable es redistribuir semillas de variedades tradicionales y especies silvestres entre los agricultores, además de incorporarlas activamente en programas de mejora genética. Estos programas podrían centrarse en desarrollar variedades tradicionales mejoradas, las cuales deberían ser evaluadas en diversos ambientes agrícolas para garantizar su adaptabilidad antes de implementar un sistema integrado de mejora.

El objetivo principal de estas acciones es proporcionar a los agricultores una mayor variedad de opciones de variedades para elegir, lo cual puede conducir a una agricultura más diversificada y resiliente (Cooper et al., 1994).

Durante años, los genes más utilizados en programas de mejora han sido aquellos que confieren resistencia a enfermedades, especialmente genes dominantes (Hajar y Hodgkin, 2007). Esto se debe a la severidad de ciertos virus y hongos que afectan significativamente a los cultivos de tomate. De hecho, aproximadamente el 80% de los cruces con plantas silvestres se realizan con el propósito de incorporar resistencia a estas enfermedades.

Sin embargo, debido a restricciones económicas, las mejoras en estas variedades, que a menudo tienen un mercado limitado, no suelen ser prioridad para las empresas productoras de semillas. Por lo tanto, es fundamental que los organismos públicos intervengan para apoyar estos esfuerzos de mejora genética (Nuez y Ruiz, 1999). Esto aseguraría que las variedades tradicionales y sus beneficios genéticos no se pierdan y que continúen contribuyendo a la sostenibilidad y resiliencia de la agricultura.

En 1998, la Escuela Politécnica Superior de Orihuela de la Universidad Miguel Hernández inició un programa de mejora genética para introducir genes de resistencia a las tres principales virosis que afectan al cultivo de tomate en el sureste de España: el virus del mosaico del tomate (ToMV), el virus del rizado amarillo o cuchara del tomate (TYLCV) y el virus del bronceado del tomate (TSWV).

Se utilizó el método de selección asistida por marcadores moleculares, que permite identificar tempranamente los individuos que portan los genes de interés. Durante las distintas generaciones de retrocruzamiento, se combinó la selección genotípica, mediante marcadores, con la selección fenotípica. La selección fenotípica se realiza para identificar plantas que no presenten síntomas de virosis y que además tengan buenas características de cuajado, tamaño de fruto, producción, entre otros. La combinación de estas técnicas produce resultados óptimos (García-García P., 2004).

Este programa está comprendido por diferentes etapas:

- Caracterización agronómica: Evaluación de las variedades tradicionales y la fuente de resistencia para identificar sus características agronómicas.
- Realización de cruzamiento: Cruce entre variedades tradicionales y fuentes de resistencia para combinar características deseables.
- Realización de retrocruzamiento: Retrocruzamiento para introducir genes de resistencia en las variedades tradicionales.
- Fijación de los genes de resistencia: Estabilización de los genes de resistencia en las nuevas líneas mediante selección.
- Selección de las mejores líneas: Identificación y selección de las líneas con las mejores características agronómicas y de resistencia.
- Inscripción en el registro de variedades: Registro oficial de las nuevas variedades mejoradas para su comercialización y uso.

La fijación de los genes de resistencia en homocigosis permite que las líneas de plantas obtenidas en el programa de mejora de la EPSO-UMH mantengan las resistencias cuando se cultiva la semilla de las plantas originales. Esto contrasta con los híbridos comerciales, donde la resistencia se introduce en heterocigosis, lo que impide que todos los descendientes hereden la resistencia.

En la segunda mitad del siglo XX, los países desarrollados implementaron una legislación para regular el uso ilegal e indebido de variedades con derechos de uso. El Registro de Variedades Protegidas se creó para proteger los derechos de los obtentores de nuevas variedades (Cubero, 2003). Antes, las variedades vegetales eran desarrolladas por los propios agricultores y transferidas de generación en generación. Hoy en día, la creación de nuevas variedades es responsabilidad de técnicos especializados.

En 2011 se iniciaron los trámites para la inscripción en los Registros de Variedades Comerciales y Protegidas de las primeras variedades desarrolladas en el Programa de Mejora de la EPSO-UMH. En 2013, se concedieron los primeros Títulos de Obtención Vegetal (TOV) a las líneas obtenidas de este programa. Desde entonces, se han seguido otorgando títulos, como se puede observar continuación en la tabla 8:

Tabla 8: Líneas inscritas en el Registro de Variedades Protegidas y genotipo para los tres genes de resistencia.

Tipo varietal	Línea	Resistencias ToMV-TYLCV-TSWV	Envío	Obtención título
Muchamiel	UMH 1200	RR-RR-RR	2011	2013
De la pera	UMH 1203	RR-RR-RR	2011	2013
Muchamiel	UMH 1139	RR-ss-RR	2013	2017
De la pera	UMH 1422	RR-ss-ss	2013	2017
De la pera	UMH 1415	RR-ss-RR	2013	2017
De la pera	UMH 1353	RR-ss-RR	2013	2017
De la pera	UMH 1354	RR-ss-RR	2013	2017
Híbrido Muchamiel	UMH 1101 x IF	Rs-Rs-Rs	2014	2017
Cherry	UMH 1401	RR-ss-RR	2015	2018
Pera moruno	UMH 1209	RR-RR-RR	2015	2018
Pera moruno	UMH 1155	RR-ss-RR	2017	2019
Híbrido	UMH 1200 x BfT	Rs-Rs-Rs	2017	2019
Híbrido	UMH 1200 x Costoluto	Rs-Rs-Rs	2017	2019

1.8.1. EFECTO DE LA INTROGRESIÓN DE GENES DE RESISTENCIA

Para introducir una característica deseada en una variedad, es necesario realizar un cruzamiento con una planta que posea dicha característica. Esta introducción se logra mediante la inserción del gen o genes responsables de esa característica. Después del cruzamiento, la progenie hereda el gen deseado y la mitad del genotipo de cada parental. Para recuperar el genotipo de la variedad original, la descendencia se cruza repetidamente con la variedad original, en un proceso conocido como retrocruzamiento (imagen 14). Después de 7-8 retrocruces, se alcanza

aproximadamente el 99% del genoma original, momento en el cual el proceso de recuperación suele considerarse completo (Lynch y Walsh, 1998).

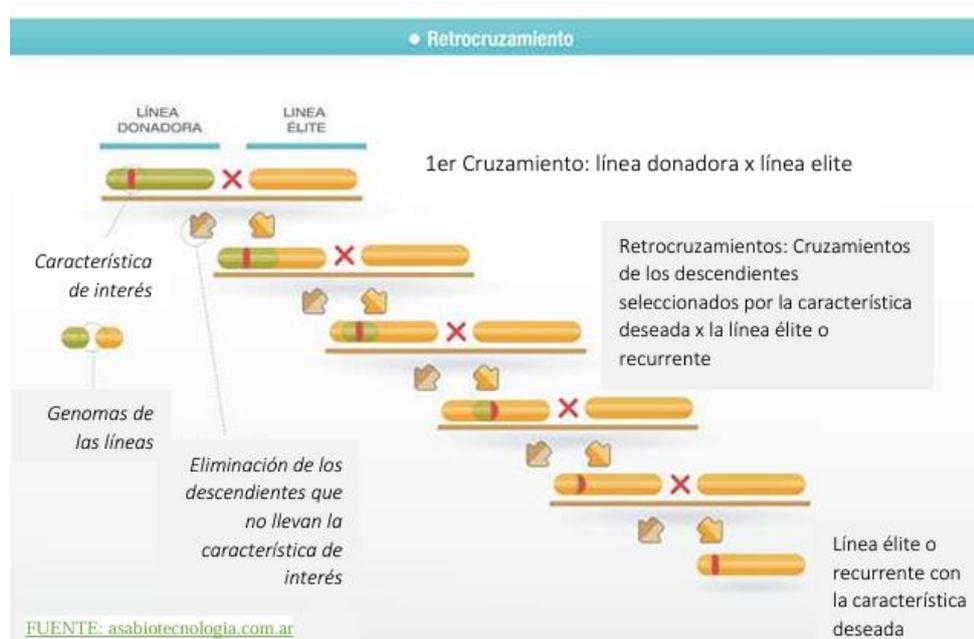


Imagen 14: Proceso de recuperación del genoma de una variedad (línea elite) tras el cruce con el otro parental que contiene el gen de interés mediante retrocruzamientos (Calabuig Serna, 2016).

En un programa de retrocruzamiento es muy difícil recuperar completamente el genoma de la variedad original, por lo que normalmente queda una porción del genoma del parental que aporta la característica de interés, además del gen deseado. Esta porción residual de cromosoma, que no incluye el gen de interés, se llama carga de ligamiento. Este segmento adicional puede contener genes que no afecten al comportamiento agronómico de la planta, pero también puede incluir genes con efectos negativos sobre una o varias características importantes. El número de estos genes indeseados y sus posibles efectos desfavorables dependen del tamaño del fragmento de cromosoma (Imagen 15).

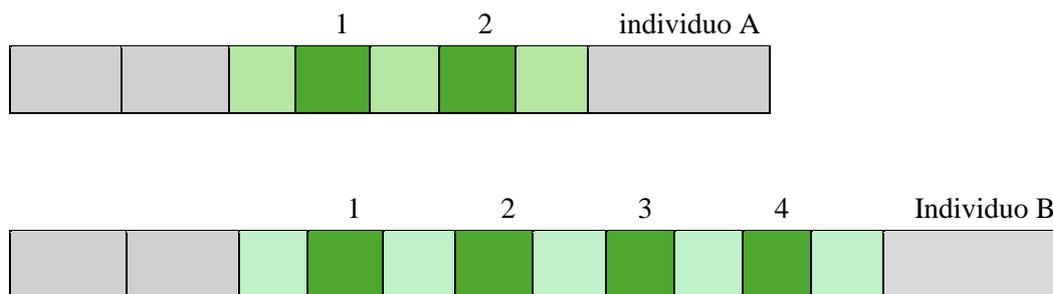


Imagen 15: Se representa la integración de fragmentos introgresados (mostrados en gris) en el genoma de dos individuos, cuya base genómica se presenta en color verde. Los números indican diferentes genes, siendo el gen de interés el identificado con el número 1 en ambos casos. Los genes restantes no son relevantes para el estudio y podrían incluso tener efectos adversos.

Diversas investigaciones del Grupo de Biodiversidad Agrícola y Mejora Genética de Variedades de la UMH han demostrado que la introducción de resistencia al virus del rizado amarillo del tomate (TYLCV) en homocigosis tiene un impacto negativo en características productivas y de calidad (García-Martínez et al., 2011, García-Martínez et al., 2012).

En el Programa de Mejora Genética de la EPSO, se lograron introducir exitosamente los genes Tm-2a (que confiere tolerancia al ToMV) y Sw-5 (que confiere tolerancia al TSWV) sin efectos negativos en los caracteres agronómicos y de calidad, mediante la eliminación del material genético no deseado. Sin embargo, la introducción del gen *Ty-1* (que confiere tolerancia al TYLCV) presentó problemas, generando efectos adversos en los cultivos (Rubio et al., 2016, García-Martínez et al., 2014; García-Martínez et al., 2015; García-Martínez et al., 2016).

Rubio et al. (2016) investigó el impacto de la introducción simultánea de genes de resistencia a ToMV, TSWV y TYLCV, encontrando que el gen *Ty-1* tenía el mayor efecto negativo en términos de productividad y calidad. Para resolver este problema, se han desarrollado líneas sin resistencia a TYLCV, que son adecuadas para cultivo en ausencia del virus, especialmente en condiciones controladas en invernadero durante el ciclo de primavera, cuando la incidencia de TYLCV es menor (García-Martínez et al., 2014; García-Martínez et al., 2015; García-Martínez et al., 2016).

Otra alternativa implementada para mitigar el efecto negativo de la introducción en homocigosis de la resistencia genética, especialmente al TYLCV, es el desarrollo de híbridos que portan la resistencia en heterocigosis, es decir, introduciendo el gen en un solo parental. Sin embargo, esta estrategia no es viable para variedades tradicionales que se desean mantener mediante autofecundación.

1.9. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN A LA QUE PERTENECE ESTE TRABAJO

El Grupo de Biodiversidad Agrícola y Mejora Genética de Variedades del CIAGRO-UMH ha trabajado en el desarrollo de líneas de mejora de la variedad Muchamiel, incorporando un nuevo gen de resistencia al TYLCV, denominado *ty-5*. En este ámbito de investigación se está evaluando el impacto de la introducción del gen *ty-5* como posible reemplazo del gen *Ty-1*, cuyos efectos negativos sobre los caracteres estudiados ya han sido documentados. Para este propósito, se han seleccionado dos líneas de mejora y, para cada una de ellas, se han generado cuatro genotipos diferentes mediante la combinación.

2. OBJETIVOS

El objetivo de este estudio es evaluar el comportamiento de los genes de resistencia *Ty-1* y *ty-5*, ambos responsables de conferir tolerancia al TYLCV. Para ello, se analizan diversos caracteres agronómicos (como el número de frutos por planta, el peso promedio de los frutos y la producción total) y de calidad (incluyendo el contenido de sólidos solubles y la acidez titulable). Las líneas de mejora se han desarrollado en el Programa de Mejora Genética del CIAGRO-UMH y se cultivaron en un invernadero de malla durante la campaña primavera-verano de 2023.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. MATERIAL VEGETAL EMPLEADO

Se han utilizado dos grupos de líneas de mejora de tomate Muchamiel (62 y 136), que presentan las cuatro combinaciones en homocigosis de los genes *Ty-1* y *ty-5* (Tabla 9). Estas líneas forman parte del programa de mejora genética de variedades tradicionales del CIAGRO-UMH, que sigue en funcionamiento hasta el día de hoy.

Tabla 9: Genotipo de los híbridos estudiados, para los 4 genes de resistencia empleados.

	Genes de resistencia			
Híbridos	Tm-2a	Sw-5	Ty-1	Ty-5
62-1	RR	RR	RR	rr
62-2	RR	RR	ss	SS
62-3	RR	RR	ss	rr
62-4	RR	RR	RR	SS
136-1	RR	RR	RR	rr
136-2	RR	RR	ss	SS
136-3	RR	RR	ss	rr
136-4	RR	RR	RR	SS

3.2. CONDICIONES DE CULTIVO

El ensayo fue realizado en un invernadero de malla en el ciclo de primavera-verano de 2023, contando todas las plantas con las mismas condiciones. Se ubicó en el CIAGRO-UMH, en el término municipal de Orihuela, más concretamente en Desamparados.

3.2.1. INSTALACIONES

El invernadero utilizado es un cortavientos, un invernadero de malla con cubierta de tipo multicapa, a dos aguas y simétrica. Cuyas medidas son de 26 metros de ancho, 36 metros de profundidad, 4 metros de altura hasta el canal y 5 metros hasta la cumbre (imagen 15).



Imagen 16: Interior del invernadero.

3.3. PRÁCTICAS DE CULTIVO

3.3.1. SEMILLERO

La siembra de las plantas fue realizada por los Semilleros José y Belén, una empresa ubicada en Albufera (Alicante), el día 7 de febrero. Para ello, se utilizaron bandejas de poliestireno expandido con 150 alveolos (Imagen17). La empresa empleó un sustrato compuesto por un 80% de turba rubia y un 20% de turba negra, el cual fue enriquecido con fertilizantes.



Imagen 17: Bandeja de poliestireno expandido con el sustrato la planta ya germinada.

3.3.2. PREPARACIÓN DEL TERRENO

Unos meses antes del trasplante, se aplicarán 2 kg/m² de estiércol de oveja comercial como abono de fondo, seguido de una labor con subsolador y otra con fresadora, con el objetivo de incorporar de manera adecuada y uniforme la materia orgánica al suelo. En campañas anteriores, se realizaba una desinfección del suelo utilizando cloropicrina y dicloropropeno, pero en esta ocasión no se llevó a cabo dicha desinfección, lo que podría explicar los problemas ocurridos con el hongo *Fusarium oxysporum*.

Finalmente, una semana antes del trasplante, se llevó a cabo una limpieza y laboreo del suelo para preparar los caballones donde se plantarían posteriormente las plantas. Además, se instaló el sistema de riego.

3.3.3. TRANSPLANTE

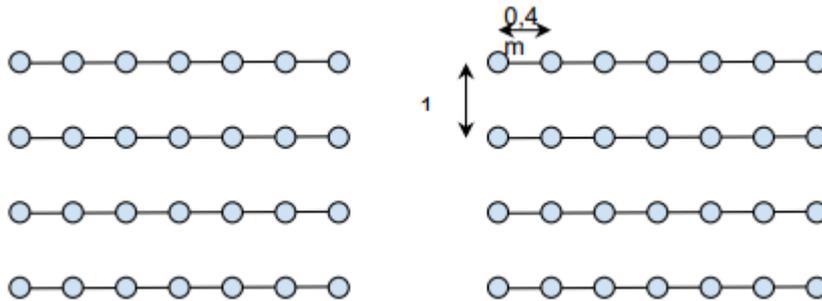
El trasplante se realizó el día 4 de abril, cuando las plántulas tenían entre 40 y 60 días, a continuación podemos ver el resultado (Imagen 18).



Imagen 18: Plantas de tomate de nuestro ensayo.

3.3.4. MARCO DE PLANTACIÓN

Las plantas se organizaron en líneas simples, separadas por 1 metro, con una distancia de 0,4 metros entre cada planta dentro de la misma línea, tal como se muestra en el esquema 2. De este modo, la densidad de plantación total resultante es de 2,5 plantas/m².



Esquema 2: Esquema de plantación.

3.3.5. ENTUTORADO Y PODA

El entutorado es una técnica que crea una estructura que orienta a la planta para que crezca verticalmente, evitando que las hojas y, especialmente, los frutos toquen el suelo. Se utiliza un hilo de rafia que se fija al emparrillado superior de la estructura y se une al tallo mediante anillas de plástico (Imagen 19).

En cuanto al sistema de poda, se emplea una guía o tallo único para las plantas, eliminando semanalmente los brotes laterales o axilares cuando aún son lo suficientemente pequeños para que las cicatrices sean mínimas, lo que reduce el riesgo de enfermedades. Además, el material de poda se desinfecta frecuentemente con lejía para evitar la transmisión del virus del mosaico del tomate entre las variedades tradicionales, las cuales son altamente susceptibles.



Imagen 19: Entutorado de una planta unida a un hilo de rafia mediante una anilla de plástico.

3.3.6. FERTIRRIGACIÓN

Para una correcta aplicación de la fertilización, se ha considerado tanto la calidad del agua de riego como la composición química de los fertilizantes utilizados. El agua de riego proviene de la balsa de almacenamiento de la EPSO, la cual se llena con agua del trasvase Tajo-Segura. El riego se realizó de manera localizada por goteo, utilizando emisores autocompensantes y antidrenantes con un caudal de 2 l/h. Las necesidades de riego se calcularon en función de la evapotranspiración de referencia (ET_0) y el coeficiente de cultivo (K_c), ajustando los tiempos de riego según la fase de desarrollo del cultivo.

De manera similar al riego, la fertilización también se adaptó a las distintas fases de crecimiento del cultivo, empleándose tres soluciones nutritivas diferentes a lo largo de la campaña, lo que generó tres etapas distintas de fertilización.

- **Etapla 1:** desde el trasplante hasta la aparición del tercer racimo floral.
- **Etapla 2:** desde el final de la etapa 1 hasta el cambio de color de los primeros frutos.
- **Etapla 3:** desde el final de la etapa 2 hasta el final del cultivo.

La fórmula de fertilización aplicada durante el ciclo de cultivo para el suministro de macronutrientes fue la siguiente:

375 N - 225 P₂O₅ - 550 K₂O - 190 CaO

Las proporciones de macronutrientes aplicadas en cada etapa fueron

- Etapa 1: 1 N - 2 P₂O₅ - 1 K₂O - 1 CaO.
- Etapa 2: 1 N - 1 P₂O₅ - 1 K₂O - 1 CaO.
- Etapa 3: 1 N - 0.3 P₂O₅ - 2 K₂O - 1 CaO.

Para cubrir las necesidades de micronutrientes durante el cultivo se aplicaron los siguientes productos:

- **SIAPTON:** Aminoácidos 7,9%.
- **AGROSTIM:** AATC (ácido N-acetil-4-triazolidin carboxílico) 5% + Ácido fólico 0,1% p/v.
- **PITCA:** Calcio 6%.
- **ISABION Riego:** N 5,7% + P 5,4% + K 7% + Aminoácidos 6%.
- **BROTOMAX:** N, P, K (5-0-0) Urea, Cobre (1,75%), Manganeso (0,75%), Zinc (0,5%)

3.3.7. TRATAMIENTOS FITOSANITARIOS

Entre las principales plagas y enfermedades que afectan al cultivo del tomate se identificaron: tuta (*Tuta absoluta*), trips (*Frankliniella occidentalis*), mosca blanca (*Bemisia tabaci*), ácaro vasates (*Aculops lycopersici*) y araña roja (*Tetranychus urticae*).

Para su control, se realizaron aplicaciones de tratamientos fitosanitarios con una periodicidad de 10 a 15 días, ajustándose a las necesidades específicas. Los productos utilizados para estos tratamientos están detallados en la (Tabla 10), que incluye las soluciones fitosanitarias empleadas.

Tabla 10: Productos fitosanitarios usados en el cultivo.

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
Eradicoat	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
Ridomil Gold MZ Pepite	Mancozeb 64% p/p + Metalaxyl-M 3.9% p/p
Spintor 480 SC	Spinosad 48% p/v
Switch One	Fludioxinil 50% WG

3.3.8. RECOLECCIÓN

La recolección se realizó de forma manual, llevándose a cabo una vez a la semana, en el momento en que los frutos alcanzaban un grado de maduración adecuado para el consumo. Cada planta se recolectaba individualmente durante el proceso, asegurando que todos los frutos fueran recogidos de manera sistemática. Se registraba la fecha de recolección para cada fruto.

Durante el proceso de recolección, se pesaban y contaban tanto los frutos comerciales como los no comerciales. Estos datos se recopilaban con el fin de analizar los caracteres productivos del ensayo. Además, se seleccionaron varios frutos de cada repetición para enviarlos al laboratorio, donde se realizaron pruebas para determinar los parámetros necesarios para evaluar los caracteres de calidad de los frutos.

3.4. PLANIFICACIÓN DE LOS ENSAYOS

La planificación llevada a cabo podría resumirse en las tareas que vemos en la siguiente tabla:

Tabla 11: Planificación del cultivo

Tarea	Fecha
Siembra	07/02/2023
Transplante	04/04/2023
Entutorado	22/04/2023 - 18/05/2023
1ª recolección	06/07/2023
2ª recolección	19/07/2023
3ª recolección	27/07/2023
Medida de sólidos solubles y acidez	10/10/2023 - 11/10/2023 - 16/10/2023

3.5. CARACTERES ANALIZADOS EN EL ENSAYO

3.5.1. CARACTERES PRODUCTIVOS

Los caracteres productivos se evaluaron en cada recolección, diferenciando los frutos comerciales de los no comerciales. Se clasificaron como no comerciales aquellos frutos que presentaban deformidades significativas o un peso inferior a 80 gramos, aproximadamente. La suma de ambos grupos permitió obtener los valores totales de la producción.

3.5.1.1. PRODUCCIÓN

Durante cada recolección, se pesaron en conjunto los frutos de cada planta, separando los comerciales de los no comerciales. Para ello, se utilizó una balanza de laboratorio que mostraba el peso en gramos sin decimales. La producción, expresada en gramos por planta (g/planta), se calculó sumando el peso total de todos los frutos recolectados de cada planta en cada recolección.

3.5.1.2. NÚMERO DE FRUTOS POR PLANTA

Se procedió a la cuenta de los frutos totales de cada planta al finalizar la recolección, anotando el número total de estos, distinguiendo los frutos comerciales de los no comerciales.

3.5.1.3. PESO MEDIO DE LOS FRUTOS

Es el resultado de la suma del peso de todos los frutos recolectados dividido entre el número total de frutos recolectados de cada planta en el total de recolecciones realizadas.

3.5.2. CARACTERES DE CALIDAD

Los caracteres de calidad se analizaron exclusivamente en los frutos clasificados como comerciales. Factores como el contenido de sólidos solubles y la acidez, que influyen directamente en el sabor y la calidad del fruto, están estrechamente relacionados con su grado de maduración. Por este motivo, los análisis se llevaron a cabo utilizando frutos que presentaban un estado de madurez uniforme y adecuado. Tras la cosecha, se seleccionaron frutos maduros provenientes de cada repetición, línea y orientación. Para cada repetición, se prepararon cuatro muestras, cada una compuesta por 3-4 frutos, los cuales fueron troceados y triturados con una licuadora doméstica. El puré obtenido se transfirió a tubos Falcon de 50 ml, que fueron etiquetados con la información de la línea y repetición correspondiente. Finalmente, los tubos se almacenaron en gradillas dentro de un congelador a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ para ser analizados posteriormente (Imagen 20).



Imagen 20: Tubos con tomate triturado en las gradillas.

Para medir el contenido de sólidos solubles y la acidez, las muestras se dejaron descongelar a temperatura ambiente. Luego, se equilibró el peso de las muestras en parejas antes de introducirlas en la centrifugadora (Imagen 21), donde se centrifugaron durante 1 minuto a 4.000 rpm. Al terminar, la mayor parte de la pulpa y el sobrenadante se separaron en el tubo, por lo que se retiró la mayor cantidad posible de pulpa. Después, se equilibraron nuevamente los pesos de las muestras en parejas y se sometieron a un segundo centrifugado de 6 minutos a 4.000 rpm, con el fin de minimizar la cantidad de pulpa en el sobrenadante.



Imagen 21: Centrifugadora.

3.5.2.1. SÓLIDOS SOLUBLES

Los azúcares representan la mayor parte de los sólidos solubles en los frutos, destacándose la glucosa y la fructosa, que se encuentran en proporciones similares. Para determinar el contenido de sólidos solubles, se utilizó un refractómetro digital Atago (imagen 22). El aparato se calibró previamente con agua destilada. Posteriormente, se colocaron unas gotas del sobrenadante sobre la lente del refractómetro y se registró el valor de sólidos solubles, expresado en grados Brix (°Brix). Cada muestra fue medida en dos ocasiones para asegurar la precisión de los resultados.



Imagen 22: Refractómetro digital ATAGO (página web ATAGO 2024).

3.5.2.2. Acidez

La acidez se determinó a partir del sobrenadante obtenido tras la centrifugación, que también se utilizó para medir el contenido de sólidos solubles. La valoración de la acidez se realizó por duplicado utilizando un pH-metro pHmatic 23 de CRISON (imagen 23). La muestra se disolvía en agua destilada, y luego se introducía la sonda del pH-metro para proceder con la medición. La acidez se calculaba como el volumen de una solución de sosa (NaOH) 0,1 N necesario para neutralizar 1 ml de muestra. El resultado se expresaba en gramos de ácido por cada 100 gramos de muestra.



Imagen 23: pHmetro para medir acidez y pH (Página web Crison Instruments 2024).

3.6. TRATAMIENTOS ESTADÍSTICOS

Se llevó a cabo un análisis de varianza (ANOVA) multifactorial utilizando los genes *Ty-1* y *ty-5* como factores, y los genotipos Resistente y Sensible como niveles. Si se detectan diferencias significativas, se aplican contrastes post-hoc como el LSD de Fisher, el gráfico de interacción o el test de Tukey HSD, dependiendo del caso, para determinar las diferencias entre los valores medios de cada tratamiento. Los análisis fueron realizados con el software Statgraphics Centurion XVI.II.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presentan los resultados, seguidos de la interpretación y discusión de los mismos para cada uno de los parámetros analizados.

4.1. ANÁLISIS DE BONDAD DE AJUSTE

Se lleva a cabo el test de Kolmogorov-Smirnov para verificar la normalidad de los datos y el test mejorado de Levene para comprobar la homogeneidad de varianzas.

Los resultados correspondientes a la comprobación de normalidad y homocedasticidad de los datos, así como las pruebas realizadas y los test de rangos múltiples o gráficos de interacción aplicados según el caso, se muestran en la tabla 12. En cuanto al peso medio de los frutos, sólidos solubles totales y acidez total, al cumplirse el supuesto de normalidad pero no el de homocedasticidad, se realiza un ANOVA bajo la suposición de varianzas iguales y se utiliza el test de Tukey HSD para la separación de medias, ya que es más conservador que el test LSD de Fisher.

Tabla 12: Pruebas de bondad de ajuste, test y pruebas de análisis aplicadas a cada una de las variables aplicadas.

Variable	Normalidad	Homocedasticidad	Prueba	Test
Producción	0.9608	0.0798	ANOVA	LSD
Número de frutos	0.4392	0.6424	ANOVA	LSD
Peso medio de los frutos	0.4871	0.0114	ANOVA	HSD
Sólidos solubles totales	0.3820	0.0301	ANOVA	Gráfico de interacción
Acidez total	0.4279	0.7559	ANOVA	Gráfico de interacción

A continuación, podemos ver los histogramas de los diferentes factores estudiados:

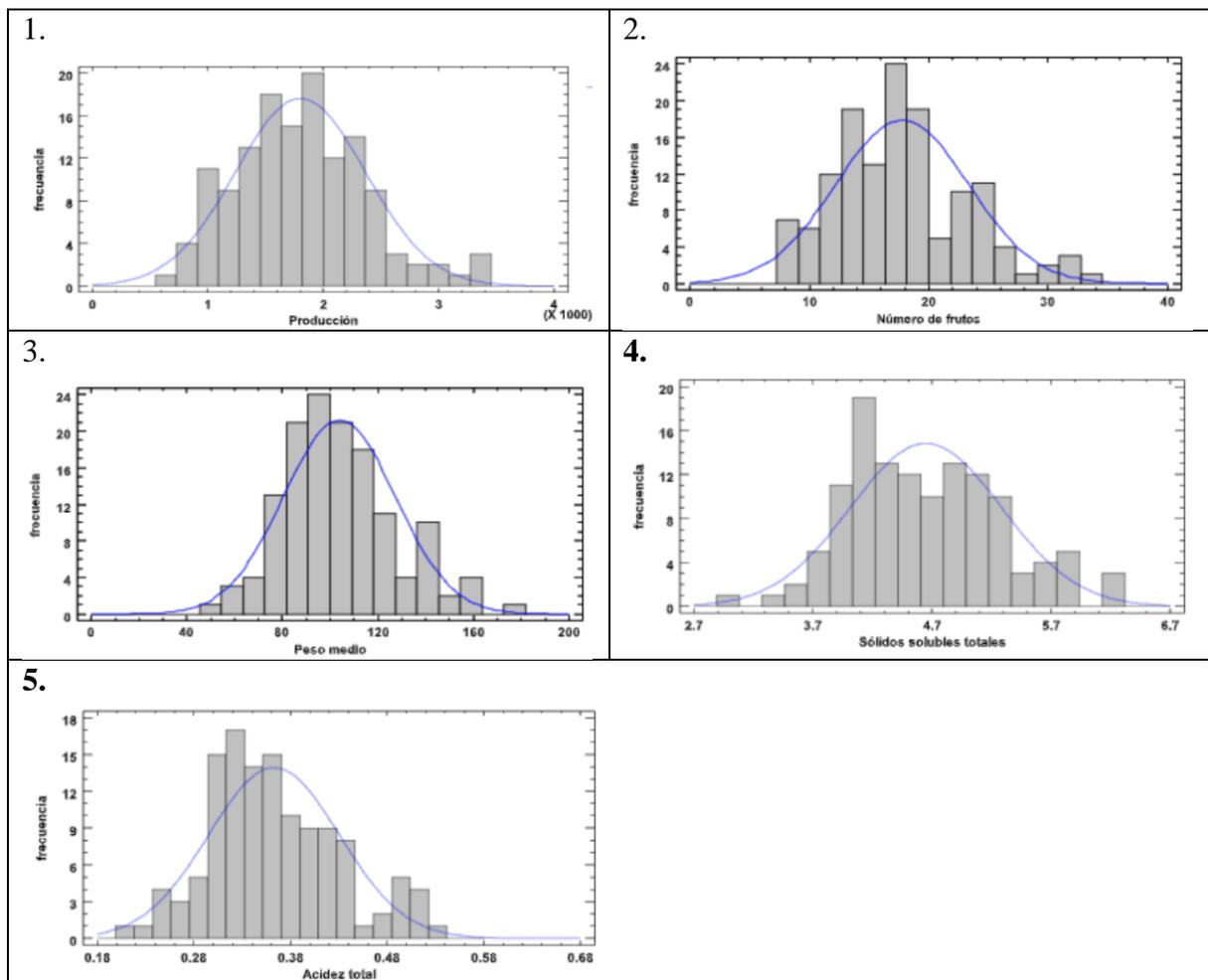


Imagen 24: Histogramas estudiados:

1. Histograma para la producción.
2. Histograma para el número de frutos.
3. Histograma para el peso medio.
4. Histograma para los sólidos solubles.
5. Histograma para la acidez total.

4.2. CARACTERES PRODUCTIVOS

Si el p-valor del análisis es igual o superior a 0,05, no se encuentran diferencias estadísticamente significativas entre los genes estudiados. En caso contrario, si el p-valor es menor a 0,05, se concluye que existen diferencias significativas entre los dos genes analizados. Para la comparación de medias, si la interacción no es significativa, se aplican los test de rangos múltiples; en cambio, si la interacción entre los genes es significativa, se utilizan gráficos de interacción.

4.2.1. PRODUCCIÓN

En primer lugar, se analizó el parámetro de producción total para cada genotipo. Para ello, se llevó a cabo un análisis estadístico utilizando la prueba de análisis de varianza multifactorial. Como se muestra en la tabla 13, el p-valor obtenido fue menor a 0,05 sólo para el gen *ty-5*, lo que indica la presencia de diferencias significativas entre los genotipos correspondientes sólo para este gen. Sin embargo, el p-valor de las interacciones resultó superior a 0,05, lo que sugiere que no hay interacción entre los genes.

Tabla 13: Análisis de varianza empleando los genes como factores para la variable producción.

Fuente	Suma de Cuadrados	de GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: <i>Ty-1</i>	464,393	1	464,393	1.55	0.2153
B: <i>ty-5</i>	2.4398 x 10 ⁶	1	2.4398 x 10 ⁶	8.14	0.0050
INTERACCIONES					
AB	673,579	1	673,579	2.25	0.1361
RESIDUOS	3.9840 x 10 ⁷	133	299,553		
TOTAL (CORREGIDO)	4.3346 x 10 ⁷	136			

En este caso, empleamos el método LSD, con el objetivo de estudiar si la introducción de los genes *Ty-1* y *ty-5* afectan a la producción en tomate Muchamiel, pudiendo apreciar un único valor significativo, puesto que su Valor-P está por debajo de 0,05, por lo que podemos afirmar que el gen *ty-5* si tiene un efecto significativo con respecto a la variable estudiada. El genotipo SS obtiene mayor producción que el genotipo rr.

Método: 95,0 porcentaje LSD.

Tabla 14: Separación de medias entre los genotipos *Ty-1* y *ty-5*.

Gen	Genotipo	Casos	Media LS	Grupos Homogéneos
<i>Ty-1</i>	RR	75	1720.76	A
<i>Ty-1</i>	ss	62	1839.29	A
<i>ty-5</i>	rr	58	1644.19	A
<i>ty-5</i>	SS	79	1915.87	B

Los resultados obtenidos en este ensayo difieren con los de Galvez (2023) que estudió las mismas líneas en las mismas instalaciones del CIAGRO-UMH, Galvez (2023), que obtuvo diferencias significativas para el gen *Ty-1*, alcanzando el genotipo RR mayor producción que el ss. Sin embargo, en este trabajo no se han obtenido diferencias significativas para el *Ty-1*.

En cuanto al gen *ty-5*, ambos hemos obtenido diferencias significativas para dicho gen, pero en el caso de Galvez (2023), ella obtuvo mayores diferencias, aproximadamente unos de unos 600 gramos por planta, mientras que en este trabajo se ha obtenido una diferencia de unos 270 gramos (tabla 14), confirmando en ambos casos que el genotipo sensible tiene una mayor producción que el resistente, este resultado sugiere que la introducción del gen *ty-5* tiene un efecto negativo sobre la producción.

Los resultados obtenidos para el gen *Ty-1* no han sido exactamente los esperados. En otros ensayos pertenecientes al Programa de Mejora Genética de Variedades Tradicionales del CIAGRO-UMH llevados a cabo por Rubio et al. (2016) y Cabrera (2019), en los que estudiaba líneas de mejora de tomate Muchamiel portadoras de los genes de resistencia TYLCV, ToMV y TSWV, sus resultados revelaron efectos negativos más significativos en las líneas resistentes a TYLCV, es decir, portadoras del gen *Ty-1*.

4.2.2. NÚMERO DE FRUTOS POR PLANTA

Los resultados obtenidos para este parámetro podemos apreciarlos en la siguiente tabla (Tabla 15) obtenida través del método LSD de Fisher.

Tabla 15: Análisis de varianza para la variable número de frutos usando como factores los genes.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: <i>Ty-1</i>	389.186	1	389.186	14.13	0.0003
B: <i>ty-5</i>	20.2335	1	20.2335	0.73	0.3929
INTERACCIONES					
AB	64.4925	1	64.4925	2.34	0.1283
RESIDUOS	3662.06	133	27.5343		
TOTAL (CORREGIDO)	4216.53	136			

Como podemos apreciar en la tabla 15, el único valor significativo (Valor-P <0.05) es el del gen *Ty-1*, teniendo al parecer un impacto notorio sobre el factor estudiado.

Tabla 16: Separación de medias entre los genotipos de los genes *Ty-1* y *ty-5*.

Método: 95.0 porcentaje LSD.

Gen	Genotipo	Casos	Media LS	Grupos Homogéneos
<i>Ty-1</i>	ss	62	15.7618	A
<i>Ty-1</i>	RR	75	19.193	B
<i>ty-5</i>	rr	58	17.0862	A
<i>ty-5</i>	SS	79	17.8686	A

Los resultados obtenidos en cuanto al gen *Ty-1* coinciden con los de Galvez (2023), obteniendo en ambos ensayos valores significativos para dicho genotipo, pudiendo apreciar que el genotipo resistente tiene un mayor número de frutos que el sensible.

En cuanto al gen *ty-5*, los resultados difieren de los resultados de Galvez (2023), puesto que ella también obtuvo valores significativos para dicho gen (el genotipo sensible tiene mayor número de frutos), mientras que en este trabajo no se han obtenido diferencias significativas.

Al igual que con el parámetro anterior, no hemos obtenido los resultados esperados, puesto que en ensayos anteriores ya comentados llevados a cabo por Rubio et al. En 2016 y Cabrera en 2019 se ha confirmado un efecto negativo del gen *Ty-1* sobre los caracteres estudiados que no se refleja en nuestros resultados, en los que podemos apreciar medias superiores en los genotipos que incluyen el gen *Ty-1* sobre los sensibles del gen mencionado. Esto podría deberse a distintas condiciones de cultivo. En cuanto al *ty-5*, podemos ver que no hay prácticamente diferencia entre los genotipos que incluyen dicho gen o no, pero en comparación con el parámetro estudiado anteriormente, vemos que los genotipos que no tenían el gen *ty-5* tenían una mayor producción frente a los que si tenían dicho gen, por lo que la conclusión que obtenemos es que los frutos de los genotipos que no tenían el *ty-5* son de mayor tamaño.

4.2.3. PESO MEDIO DE LOS FRUTOS

Los resultados obtenidos de este parámetro podemos apreciarlos en la siguiente tabla (Tabla 17), obtenidos mediante los test de separación de medias de Tukey HSD.

Tabla 17: Análisis de varianza para la variable peso medio de los frutos usando como factores los genes.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: <i>Ty-1</i>	23473.1	1	23473.1	65.95	0.0000
B: <i>ty-5</i>	4331.52	1	4331.52	12.17	0.0007
INTERACCIONES					
AB	107.747	1	107.747	0.30	0.5831
RESIDUOS	47338.5	133	355.928		
TOTAL (CORREGIDO)	74616.7	136			

Podemos observar diferencias significativas para los genotipos de ambos genes, tanto para el *Ty-1* como para el *ty-5*, debido a que su Valor-P es menor que 0,05.

Tabla 18: Diferencia de medias entre los genotipos de los genes *Ty-1* y *ty-5*.

Gen	Genotipo	Casos	Media LS	Grupos Homogéneos
<i>Ty-1</i>	RR	75	91.0674	A
<i>Ty-1</i>	ss	62	117.715	B
<i>ty-5</i>	rr	58	98.6678	A
<i>ty-5</i>	SS	79	110.115	B

Para este parámetro podemos observar que nuestros resultados coinciden con los de Galvez (2023), viendo en ambos casos diferencias significativas para ambos genes, tanto para el gen *Ty-1* como para el *ty-5*, obteniendo en ambos casos un peso medio mayor en los genotipos sensibles. Estos resultados sugieren que la introducción de los dos genes de resistencia disminuye el peso medio del fruto.

En este caso, al contrario que en los dos anteriores, en cuanto al peso medio de los frutos se refiere si hemos obtenido unos resultados acordes con lo esperado en el caso del gen *Ty-1*. Por lo que en este caso los estudios de Rubio et al. (2016) y Cabrera (2019) si coinciden con nuestros resultados. En cuanto al *ty-5*, el valor del genotipo resistente se asemeja bastante al valor del genotipo resistente para el gen *Ty-1*, lo que podría significar que ambos genes tienen cierta similitud y por tanto significar que el gen *ty-5* también causa efectos negativos sobre el peso medio de los frutos (Tabla 18).

4.3 CARACTERES DE CALIDAD

4.3.1 SÓLIDOS SOLUBLES

A continuación, podemos ver los resultados obtenidos del análisis de varianza multifactorial (tabla 19). Dichos valores los hemos obtenido mediante el test de Tukey HSD.

Hemos obtenido un valor-p inferior a 0,05 en la interacción de ambos de ambos genes, lo que significa que al introducir ambos genes a la vez estos interactúan entre ellos de forma negativa, originando resultados peores que si los introdujésemos por separado ambos.

Tabla 19: Análisis de varianza teniendo en cuenta como factores los genes para la variable sólidos solubles totales.

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Ty-1	0.558516	1	0.558516	1.44	0.2322
B: tv-5	0.363429	1	0.363429	0.94	0.3346
INTERACCIONES					
AB	2.24396	1	2.24396	5.79	0.0176
RESIDUOS	46.4742	120	0.387285		
TOTAL (CORREGIDO)	49.6631	123			

Tabla 20: Diferencia de medias entre los genotipos de los genes *Ty-1* y *ty-5*.

Gen	Genotipo	Casos	Media (° Brix)	Grupos Homogéneos
<i>Ty-1</i>	ss	62	4.58065	A
<i>Ty-1</i>	RR	62	4.71491	A
<i>Ty-5</i>	SS	63	4.59362	A
<i>Ty-5</i>	rr	61	4.70193	A

En este caso, podemos apreciar que los resultados obtenidos difieren de los de Galvez (2023) en ambos genes, que obtuvo en ambos casos diferencias significativas mientras que en este ensayo no se han encontrado diferencias significativas.

Como demostraron los estudios realizados por Rubio et al. (2016), la introducción del gen *Ty-1* no afecta negativamente en el contenido de sólidos solubles. En cuanto al gen *ty-5*, no se han encontrado diferencias significativas entre resistentes y sensibles, lo que sugiere que el gen *ty-5* tampoco tiene efectos negativos importantes en este factor.

4.3.2 ACIDEZ

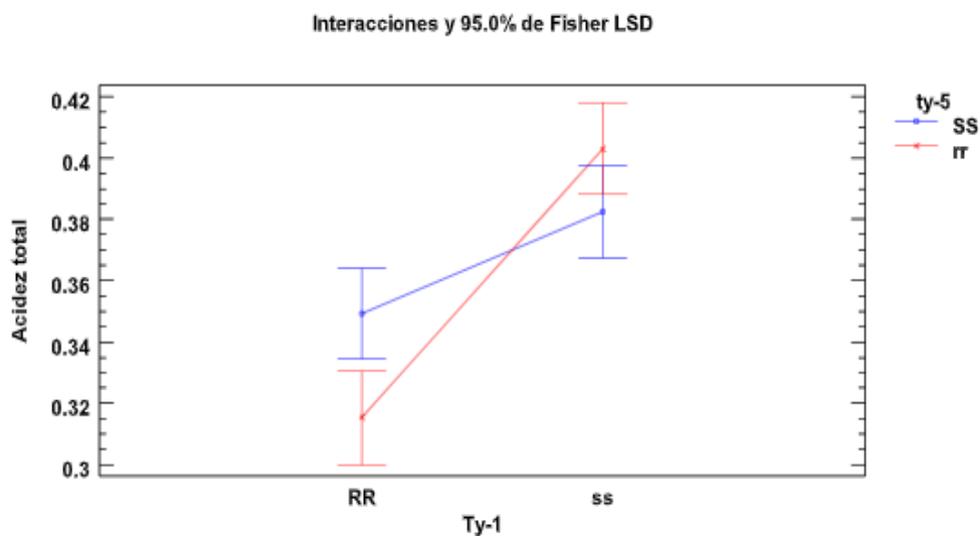
En la siguiente tabla (tabla 21) aparecen los resultados obtenidos mediante el análisis de varianza multifactorial para el parámetro acidez total. El valor-p muestra diferencias significativas en cuanto al gen *Ty-1* y también en la interacción entre ambos genes

Tabla 21: Análisis de varianza teniendo en cuenta como factores los genes para la variable acidez total.

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: <i>Ty-1</i>	0.113286	1	0.113286	31.85	0.0000
B: <i>ty-5</i>	0.00139066	1	0.00139066	0.39	0.5330
INTERACCIONES					
AB	0.0230312	1	0.0230312	6.48	0.0122
RESIDUOS	0.426808	120	0.00355674		
TOTAL (CORREGIDO)	0.562525	123			

En este parámetro observamos que los resultados obtenidos en este ensayo coinciden con los de Galvez (2023) en ambos genes, obteniendo diferencias significativas solo en el gen *Ty-1*.

Como la interacción es significativa tenemos que basarnos en el gráfico de interacción de estos (gráfica 9).



Gráfica 9: Interacción de los genes *Ty-1* y *ty-5* para la variable acidez total.

Como podemos ver, los resultados demuestran que el gen *Ty-1* causa efectos negativos sobre la acidez total. En este trabajo se han encontrado diferencias significativas entre los genotipos RR y ss para el *Ty-1* solo cuando el genotipo en *ty-5* es rr, alcanzando el genotipo ss a *Ty-1* mayor valor de acidez. Este resultado sugiere que la introducción del gen *Ty-1* disminuye la acidez, lo que coincide con los resultados de Rubia et al. (2016) y Cabrera (2019).

5. CONCLUSIONES

Una vez analizados todos los resultados obtenidos mediante los diferentes métodos empleados podemos sacar las siguientes conclusiones:

Se ha encontrado un efecto negativo del gen *Ty-1* en producción, peso medio y en acidez total. No se ha encontrado un efecto negativo del gen *Ty-1* sobre número de frutos y sólidos solubles.

En cuanto al gen *ty-5*, se ha encontrado un efecto negativo en producción, número de frutos, peso medio y acidez total, mientras que no se ha encontrado ningún efecto sobre sólidos solubles.

6. BIBLIOGRAFÍA

CITAS:

- Bruhn, C.M., Feldman, N., Garlitz, C., Harwood, J., Ivans, E., Marshall, M., Riley, A., Thurber, D., Williamson, E. (1991). Consumer perceptions of quality: apricots, cantaloupes, peaches, pears, strawberries, and tomatoes. *Journal of Food Quality*.
- Cabrera, J.Á. (2019). Evaluación de líneas de mejora de tomate (*Solanum lycopersium* L.) Muchamiel con resistencia genética a virus y menor carga de ligamiento durante los años 2017 y 2018.
- Cubero, J.I. (2003). *Introducción a la mejora genética vegetal*. Mundi-Prensa.
- De Candolle, A. (1883). *Origine des plants cultivés*. 10^a Ed. Baillièrre, Paris.
- Dorst, J.C.E.A. (1946). Een en twintigste beschrijvende rassenlijst voor landbouwgewassen. Rijkscommissie voor de samenstelling van de rassenlijst voor landbouwgewassen.
- Esquinas-Alcázar, J., Nuez, F. (1995). *Situación taxonómica, domesticación y difusión. El cultivo del tomate*. Ediciones Mundi Prensa.
- Alabouvette, L., Titard, A. (1933). Sur la possibilité d'utiliser dans la culture de la tomate des hybrides de première génération.
- Anbinder, I., Reuveni, M., Azari, R., Paran, I., Nahon, S., Shlomo, H., Chen, L., Lapidot, M., Levin, I. (2009). Molecular dissection of Tomato leaf curl virus resistance in tomato line TY172 derived from *Solanum peruvianum*. *Theor. Appl. Genet.* 119.
- Cebolla-Cornejo, J. (2005). *Recuperación de variedades tradicionales de tomate y pimiento. Caracterización y Mejora genética*. Universidad Politécnica

- Ceccarelli, S., Valkoun, W., Erskine, S., Weigand, R., Miller, R., Van Leer, A.G. (1992). Plant genetic resources and plant improvement as tools to develop sustainable agriculture. *Expl. Agric.*
- Cohen, S. & Antignus, Y. (1994). Tomato Yellow Leaf Curl Virus, a Whitefly-Borne Geminivirus of Tomatoes. *Advances in Disease Vector.*
- Bertin, N., Guichard, S., Leonardi, C., Longuenesse, J.J., Langlois, D., Navez, B. (2000). Seasonal evolution of the quality of fresh glasshouse tomatoes under Mediterranean conditions, as affected by air vapour pressure deficit and plant fruit load. *Annals of Botany.*
- Cabrera, J.A., Carbonell, P., Salinas, J.F., Grau, A., Alonso, A., García-Martínez, S., Ruiz, J.J. 2021. Introducción del gen Ty-2 en el Programa de Mejora Genética de Variedades Tradicionales de Tomate del CIAGRO-UMH. *Actas del II Congreso Universitario en Innovación y Sostenibilidad Agroalimentaria (CUISA)*. Editorial: Universidad Miguel Hernández de Elche. ISBN: 978-84-18177-16-3.
- Cohen, S. & Harpaz, I. (1964). Periodic, rather than continual acquisition of new tomato virus by its vector, the tobacco whitefly (*Bemisia tabaci* Gennadius). *Entomologia Experimentalis et Applicata.*
- Coleman, W.K., Greyson, R.I. (1976). The growth and development of the leaf in tomato (*Lycopersicon esculentum*). *Canadian Journal of Botany.*
- Costa, J.M., Heuvelink, E. (2005). Introduction: the tomato crop and industry. Heuvelink, E. *Tomatoes.*
- Fernandez-Cornejo, J. (2004). The seed industry in U.S. agriculture: An exploration of data and information on crop seed markets, regulation, industry structure, and research and development. *Agriculture Information Bulletin Number 786*. UDA, Washington.
- Fernandez-Munoz, R., Cuartero, J. (2005). Breeding tomato for pollen tolerance to low temperatures by gametophytic selection. *Euphytica.*

- Foyler, C., Valadier, M.H., Migge, A., Becker, T.W. (1998). Drought-induced effects on nitrate reductase activity and mRNA and on the coordination of nitrogen and carbon metabolism in maize leaves. *Plant Physiology*.
- Frankel, O.H. (1958). Plant breeding. *Journal of Australian institute of agricultural Science*.
- García-Martínez, S., Grau, A., Alonso, A., Rubio, F., Carbonell, P., Ruiz, J.J. (2015). UMH 916, UMH 972, UMH 1093, UMH 1127, and UMH 1139: Four fresh-market breeding lines resistant to viruses within the Muchamiel tomato type. *HortScience*.
- García-Martínez, S., Grau, A., Alonso, A., Rubio, F., Carbonell, P., Ruiz, J.J. (2016). New breeding lines resistant to Tomato mosaic virus and Tomato spotted wilt virus within the 'De la Pera' tomato type: UMH 1353 and UMH 1354. *HortScience*.
- Grasselly, D., Navez, B. Letard, M. (2000). *Tomate: Pour un produit de qualité*.
- Guzmán-Casado, G.I., Soriano-Niebla, J.J., García-Jiménez, F.S., Díaz-del-Cañizo M.A. (2000). La recuperación de variedades locales hortícolas en Andalucía (España) como base de la producción agroecológica. *Introducción a la agroecología como desarrollo rural sostenible*. Mundi-Prensa.
- Frary, A., Doganlar, S. (2003). Comparative genetics of crop plant domestication and evolution. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*.
- Gallitelli, D., Luisoni, E., Martinelli, G.P., Caciagli, P., Milne, R.G., Accotto, G.P., Antignus, Y. (1991). L'accarttociamiento fogliare giallo del pomodoro in Sardegna. *Inform. Fitopatol*.
- García-García, P., Nuez, F., Carrillo, J.M., Pérez-de-la-Vega, M. (2004). Herramientas biotecnológicas y uso de recursos fitogenéticos. Resistencia genética a patógenos vegetales.

- García-Martínez, S. (2006). Mejora genética de variedades tradicionales de tomate del sureste español. Universidad Miguel Hernández.
- García-Martínez, S., Grau, A., Alonso, A., Rubio, F., Valero, M., Ruiz, J.J. (2011). UMH 1200, a breeding line within the Muchamiel tomato type, resistant to three viruses. HortScience.
- García-Martínez, S., Grau, A., Alonso, A., Rubio, F., Valero, M., Ruiz, J.J. (2012). UMH 1203, a multiple virus-resistant fresh-market tomato breeding line for open-field conditions. HortScience.
- García-Martínez, S., Grau, A., Alonso, A., Rubio, F., Valero, M., Ruiz, J.J. (2014). UMH 1422 and UMH 1415: Two Freshmarket Tomato Breeding Lines Resistant to Tomato Mosaic Virus and Tomato Spotted Wilt Virus. Hortscience.
- Hajjar, R., Hodgkin, T. (2007). The use of wild relatives in crop improvement: A survey of developments over the last 20 years. Euphytica.
- Hawkes, J.G., Maxted, N., Ford-Lloyd, B.V. (2000). The ex situ conservation of plant genetic resources. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Holanda.
- Howard, P.H. (2009). Visualizing consolidation in the global seed industry: Sustainability.
- Hoyos, P., Martín, M. (2005). El cultivo de tomate para fresco: situación actual y perspectivas desde el punto de vista técnico y comercial.
- Ji, Y., Schuster, D.J., Scott, J.W. (2007a). Ty-3, a begomovirus resistance locus near the Tomato yellow leaf curl virus resistance locus Ty-1 on chromosome 6 of tomato. Molecular Breeding 20.
- Ji, Y., Scott, J.W., Schuster, D.J. (2009). Toward fine mapping of the Tomato yellow leaf curl virus resistance gene Ty-2 on chromosome 11 of tomato. Journal of the American Society for Horticultural Science 44.3.

- Kader, A., Stevens, M.A., Albright-Holton, M., Morris, L., Algazi, M. (1977). Effect of fruit ripeness when picked on flavour and composition in fresh market tomatoes. *Journal of American Society of Horticultural Science*.

- Kameli, A., Lösel, D.M. (1996). Growth and sugar accumulation in durum wheat plants under water stress. *New Phytologist*.

- Nuez, F. (1995). *El cultivo del tomate*. Ediciones Mundi-Prensa.

- Nuez, F., Diez, M.J., Picó, B., Fernández de Córdova, P. (1996). *Catálogo de semillas de tomate*. INIA, Madrid.

- Nuez, F., Roselló, S., Picó, B. (1998). *La conservación y recuperación de nuestro patrimonio hortícola. Mejorar para conservar*. Agrícola Vergel.

- Nuez, F.; Ruiz, J.J. (1999). *Encuentro Internacional sobre conservación y utilización de recursos fitogenéticos*. Universidad Politécnica de Valencia.

- Nuez, F.; Ruiz, J.J. (1999). *La Biodiversidad Agrícola Valenciana: Estrategias para su conservación y utilización*. Universidad Politécnica de Valencia.

- Picken, A.J.F., Stewart, K., Klapwijk, D. (1986). *Germination and vegetative development*. *The tomato crop*.

- Polston, J.E., Bois, D., Serra, C.A., Concepción, S. (1994). First report of a tomato yellow leaf curl-like geminivirus in the Western Hemisphere. *Plant Disease* 78.

- Reina, J., Jiménez, J., Bejarano, E.R., Guerra, J.M., Cuadrado, I.M., García, C. (1994). El virus del rizado amarillo del tomate (TYLCV). *Hortofruticultura* 6.

- Rick, C.M., Fobes, J.F. (1975). Allozyme variation in the cultivated tomato and closely related species. *Bulletin of the Torrey Botanical Club*.

- Kinzer, S.M., Schwager, S.J., Mutschler, M.A. (1990). Mapping of ripening-related or ripening-specific cDNA clones of tomato (*Lycopersicon esculentum*). *Theoretical and Applied Genetics*.
- Varga A., Bruinsma J. (1986). *Tomato. Handbook of Fruit Set and Development*, Monselise SP.
- Vasudeva, R.S., Sam-Raj, J. (1948). A leaf curl disease of tomato. *Phytopatology* 38.
- Vilarreal, R.L. (1980). *Tomato in the tropics*. Westview Press Boulder, Colorado.
- Zamir, D., Michelson, I.E., Zakay, Y., Navot, N., Zeidan, M., Sarfatti, M., Eshed, Y., Harel, E., Pleban, T., Van-Oss, H., Kedar, N., Rabinowitch, H.D., Czosnek, H. (1994). Mapping and introgression of a Tomato yellow leaf curl virus tolerance gene, Ty-1. *Theoretical and Applied Genetics* 88.
- Maroto, J.V. (1994). *Horticultura herbácea especial (4ª Edición)*. Mundi-prensa.
- Moriones, E., Arnó, J., Accotto, G.P., Noris, E., Cavallarin, L. (1993). First report of Tomato yellow leaf curl virus in Spain. *Plant Disease* 77.
- NAS. National Academy of Sciences. (1972). *Genetic vulnerability of major crops*. Washington.
- Nesbitt, T.C., Tanksley, S.D. (2002). Comparative sequencing in the genus *Lycopersicon*: implication for the evolution of fruit size in the domestication of cultivated tomatoes. *Genetics*.
- Rick, C.M. (1978). *El tomate. Investigación y ciencia*.
- Rick, C.M. (1987). Seedling traits of primary trisomics. Report of the Tomato Genetics Cooperative.

- Robertson, L.D., Labate, J.A. (2007). Genetic resources of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) and wild relatives. Volume 2: Tomato. New Hampshire: Science Publishers.
- Rubio, F., Alonso, A., García-Martínez, S., Ruiz, J.J. (2016). Introgression of virus-resistance genes into traditional Spanish tomato cultivars (*Solanum lycopersicum* L.): effects on yield and quality. *Scientia Horticulturae*.
- Saavedra del Real, G. (2019). Tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Boletín INIA nº 411.
- Sawhney, V.K., Greyson, R.I. (1972). On the initiation of the inflorescence and floral organs in tomato (*Lycopersicon esculentum*). *Canadian Journal of Botany*.
- Scott, J.W., Hutton, S.F. (2015). Fla. 8638B and Fla. 8624 tomato breeding lines with begomovirus resistance genes ty-5 plus Ty-6 and Ty-6, respectively. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 50.9.
- Tanksley, S.D., Hewitt, J. (1988). Use of molecular markers in breeding for soluble solids content in tomato. *Theoretical and Applied Genetics*.
- Thomas, H., James, A.R. (1999). Partitioning of sugars in *Lolium perenne* (Perennial ryegrass) during drought and on rewatering. *New Phytologist*.
- Tindall, H.D. (1977). Vegetable crops. Food crops of the lowland tropics. Oxford University Press.

PÁGINAS WEB:

Imágenes

Imagen 1:

(<https://www.semanticscholar.org/paper/DISTRIBUCI%C3%93N-GEOGR%C3%81FICA-DE-LOS-TOMATES-SILVESTRES-Arce/602a25eddad5a9d307d47cde07eaecc715efca02>)

Imagen 2:

Esquinas-Alcázar, J.T. (1981). Genetic resources of tomatoes and wild relatives. A global report. IRPGR.

Imagen 3:

(<https://www.meisterdrucke.es/impresion-art%C3%ADstica/Pietro-Andrea-Mattioli/1077154/Herbario%3A-planoma-bot%C3%A1nico-aureache-que-representa-una-planta-de-tomate-%28Caulis-floridus%29.-Grabado-en-%22Kreutterbuch-Des-Hochgelehrten-unnd-weitberuhmten-Herrn-D.-Petri-Andreae-Matthioli%22%22-de-Pietro-Andrea-Mattioli-%28Matthiole.html>)

Imagen 5: (<https://www.pinterest.es/pin/489766528197446802/>)

Imagen 6: (<https://agri-nova.com/noticias/ensayo-para-la-mejora-del-sistema-radicular/>)

Imagen 7: (<https://www.infojardin.com/jardineria/huertos-hortalizas/index-276.html>)

Imagen 8: (http://blog.clementeviven.com/?page_id=30)

Imagen 9: (<https://mariadario.blog/2017/03/01/flor-do-tomate/>)

Imagen 10: (<https://proain.com/blogs/notas-tecnicas/efecto-de-la-temperatura-y-la-humedad-relativa-para-la-polinizacion-en-el-cultivo-de-tomate>)

Imagen 11: (<https://www.elperiodicodeaqui.com/epda-noticias/a-la-venta-un-nuevo-tomate-de-muchamiel-resistente-a-los-virus-logrado-por-la-umh/257295>)

Imagen 12: <https://www.informacion.es/alacanti/2024/07/17/descubre-joya-roja-lalacanti-105418132.html>

Imagen 13: <https://www.plagasagricolas.es/plagas/virosis/tylcv-en-tomate-2/>

Imagen 15: Imagen propia.

Imagen 16: Imagen propia.

Imagen 18: Imagen propia.

Imagen 19: Imagen propia.

Imagen 20: Imagen propia.

Imagen 21: Imagen propia.

Imagen 22: <https://www.atago.net/es/products-pal-top.php>

Imagen 23:

<https://www.crisoninstruments.com/es/laboratorio/especificos/conservas/analizador-ph-y-acidez-en-conservas-ph-matic-23>

Tablas

Tabla 2: Moreiras y col. (2013). Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. TOMATE. (https://www.mapa.gob.es/es/ministerio/servicios/informacion/tomate_tcm30-102712.pdf)

Tabla 3: Base de datos de la FAO, 2025.

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

Tabla 4: Base de datos de la FAO,2025.

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

Tabla 5: Base de datos de la FAO,2025.

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

Tabla 6: Anuario de estadística del MAGRAMA, 2025.

https://www.mapa.gob.es/es/ministerio/servicios/informacion/tomate_tcm30-102712.pdf

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>

Gráfica 7:

Base de datos de la FAO 2025.

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

Gráfica 8:

Base de datos de la FAO 2025.

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