

***“ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LA
INTRODUCCION DE GENES DE
RESISTENCIA A VIRUS EN LINEAS DE
MEJORA DE TOMATE DE LA PERA”***



ESCUELA POLITENICA SUPERIOR DE ORIHUELA
GRADO EN INGENIERIA AGROALIMENTARIA Y
AGROAMBIENTAL

Autor: José Juárez Manrique

Tutor: Santiago Garcia Martinez

Cotutor: José Ángel Cabrera Mas

RESUMEN:

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 (véase el contenido de sólidos solubles y la acidez titulable). Las líneas de mejora se han desarrollado dentro del programa de mejora genética del CIAGRO-UMH y se cultivaron en un invernadero de malla durante el ciclo primavera-verano del 2023.

En los caracteres de producción y peso medio, la introducción de los genes Ty-1 y ty-5 afecta. Concretamente la introducción del gen Ty-1 disminuye la producción independientemente del genotipo a ty-5. La introducción del gen ty-5 reduce la producción solo cuando el genotipo a ty-1 es sensible. En la variable “nº de frutos”, la introducción del Ty-1 reduce este parámetro. Respecto de los caracteres de calidad, los sólidos solubles y acidez (°Brix) se ven influenciados negativamente por la introducción del Ty-1 cuando el genotipo a ty-5 es resistente. De la misma manera, la introducción del ty-5 afecta negativamente sólo cuando el genotipo a Ty-1 es resistente.

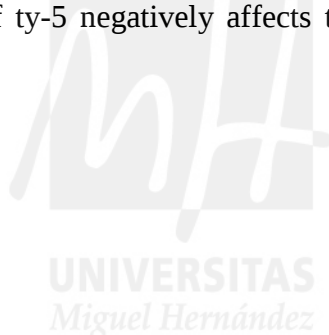


EFFECT OF THE RESISTANCE GENES INTRODUCTION IN TOMATO (*Solanum lycopersicum* L.) “DE LA PERA” BREEDING LINES

ABSTRACT:

The objective of this study is to evaluate the behavior of the resistance genes Ty-1 and ty-5, both responsible for conferring tolerance to TYLCV. To this end, various agronomic traits (such as the number of fruits per plant, average fruit weight, and total yield) and quality traits (such as soluble solids content and titratable acidity) are analyzed. The breeding lines were developed within the CIAGRO-UMH genetic improvement program and were grown in a mesh greenhouse during the spring–summer 2023 season.

Regarding yield and average weight traits, the introduction of the Ty-1 and ty-5 genes has an impact. Specifically, the introduction of the Ty-1 gene decreases yield regardless of the ty-5 genotype. The introduction of the ty-5 gene reduces yield only when the Ty-1 genotype is susceptible. For the “number of fruits” variable, the introduction of Ty-1 reduces this parameter. As for quality traits, both soluble solids and acidity (°Brix) are negatively influenced by the introduction of Ty-1 when the ty-5 genotype is resistant. Similarly, the introduction of ty-5 negatively affects these traits only when the Ty-1 genotype is resistant.



ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Origen y evolución del tomate: Domesticación y distribución a nivel mundial

1.2 Taxonomía

1.3 Fisiología y morfología

1.3.1 Planta

1.3.2 Semilla

1.3.3 Raíces

1.3.4 Parte aérea

1.3.5 Fenología del tomate

1.4 Situación económica actual del tomate:

A nivel mundial

Europeo

Nacional y región levante

1.5 Variedades tradicionales:

1.5.1 Origen y características de las variedades tradicionales

1.5.2 Erosión genética de los materiales tradicionales

- Caracteres de calidad de las variedades tradicionales
- Caso del tomate pera

1.6 Virus del rizado amarillo del tomate (TYLCV)

1.7 Programa de mejora genética del tomate del CIAGRO-UMH; Línea de investigación.

- Efectos de la inducción de la resistencia genética

2. OBJETIVOS

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Material vegetal empleado

3.2 Condiciones del cultivo

3.3 Prácticas culturales

3.3.1 Semillero

3.3.2 Preparación del terreno

3.3.3 Transplante

3.3.4 Marco de plantación, el entutorado y la poda

3.3.5 Fertilización y sanidad vegetal

3.3.6 Recoleccion

3.4 Planificacion de los ensayos, caracteres analizados

3.4.1 Productivos

3.4.2 Calidad

3.5 Estadistica de datos

4. Interpretacion de los resultados

4.1 Caracteres productivos

4.2 Caracteres de calidad

5. Conclusiones

6. Bibliografía



1. INTRODUCCIÓN

1.1. Origen y evolución del tomate, distribución del tomate a nivel mundial.

Es generalizado que este fruto tiene su origen en Sudamérica en una amplia región que abarca los Andes de norte a sur incluyendo Colombia, Ecuador, Bolivia, Perú y norte de Chile. Esto es debido a los diferentes hallazgos de especies del género *Solanum*. (Nuez 1995).

Se cree que el ancestro que guarda mayor vinculación genética con el tomate actual podría ser la actual variedad *cerasiforme* que en las regiones tropicales y subtropicales americanas (Nuez et al. 1996). No obstante, no se descarta que esta última haya surgido de hibridaciones entre poblaciones de la especie *lycopersicum* y *pimpinellifolium* (Nesbitt y Tanksley, 2002).

Sobre la domesticación y a pesar de la controversia en base a muchas evidencias existentes de carácter sociocultural, botánico e histórico, se cree que ocurrió en México. (Esquinas-Alcázar y Nuez, 1995).

Los procesos de domesticación y migración genética a lo largo del tiempo han implicado una selección la cual ha conllevado alteraciones en la especie. Es evidente por ejemplo que la tomatara actual es bien diferente de sus antepasados (Frary y Doganlar, 2003).

La selección ha derivado en mayor tamaño del fruto y semillas, autogamia de la flor y diversas morfología 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 la variabilidad genética de los materiales (Rick y Fobes, 1975, Rick 1987). Por lo tanto, la base genética del tomate cultivado es bastante estrecha, ya que la mayoría de los materiales cultivados actualmente derivan de un número limitado de los originales del continente americano.

Palabras clave: *cerasiforme*, hibridaciones, domesticación, migración, autogamia.

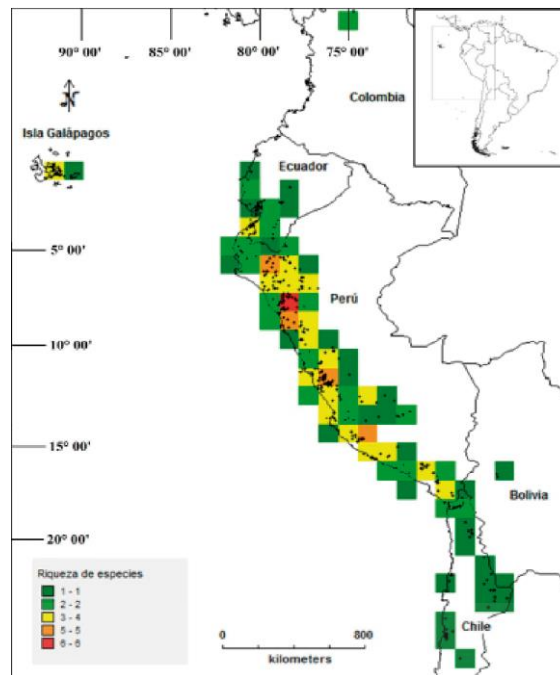


Imagen 1: Mapa de distribución en el continente sudamericano. Fuente: Esquinas-Alcazar y Nuez, 1995

TOMATE EN LA AMÉRICA PRECOLOMBINA:

A la llegada de los españoles a América, el tomate formaba parte de los pequeños huertos de hortalizas del área mesoamericana, sin que su importancia económica fuera grande. Para indicar la especie en concreto se solía utilizar un prefijo calificativo. Cuando se usaba simplemente la expresión “tomatl” o tomate se hacía referencia a cualquiera de estas especies o bien a la más apreciada en esa época, el tomate mílpero o de cáscara. Así, Francisco Hernández (1571-1577) sin duda se refiere al tomate de cáscara cuando describe **tomatl**: “Aparte de las especies de *solano* de las cuales hablamos, hay, otros cuyos frutos, llamados tomatl porque son redondos, están encerrados en una membana, son de naturaleza seca y fría en primer grado, y participan de alguna acidez... En suma, la figura de la planta, las propiedades del fruto, su forma y sus membranas de tal modo corresponden a las especies de *solano*, que sería necio no convenir con los que clasifican todos los tomates entre las variedades del *solano*”.

Francisco Hernández emplea también la voz jitomate cuando describe tomatl: “los más grandes de ellos se llaman **xitomate**” Actualmente en el centro de México sigue utilizándose mayoritariamente la palabra jitomate para aludir al fruto de *Lycopersicum esculentum* y el de tomate para *Physalis philadelphica*. No ocurre esto en otras partes del país y en Centroamérica. En Guatemala, donde el tomate de cáscara se cultiva y está profundamente arraigado en la dieta, recibe el nombre de miltomate, reservándose el de tomate para *Lycopersicon* (Bukasov, 1963)

DISTRIBUCIÓN DEL TOMATE A NIVEL MUNDIAL.

Empezó a principios del siglo XVI cuando los conquistadores introdujeron el tomate al viejo mundo. Una vez en España, empezó a extenderse por el mediterráneo y de ahí al norte de Europa aunque tuviera diferentes aceptaciones.

Se asociaba al tomate junto con otras plantas del género de las solanáceas como por ejemplo la patata con usos ornamentales y medicinales, este último caso debido al contenido en *solanina*, sustancia tóxica asociada a este género. En cambio, en España e Italia se venía empleando para alimentación (Esquinas-Alcázar y Nuez, 1995)

Por otro lado, hacia el continente africano empezó temprano facilitada por diversos comerciantes que tenían rutas establecidas a lo largo de África (Tindall 1977, Vilarreal 1980)

Más lejos en Asia, probablemente llegaría hacia las Filipinas por las rutas comerciales del siglo XVII (Esquinas-Alcazar y Nuez, 1995), que junto al expandido comercio marítimo no tardó en llegar a China y Japón donde comenzó a cultivarse ampliamente en el siglo XVIII (De Candolle, 1883).

Por último hacia América del Norte, los primeros tomates llegaron con los colonos europeos alrededor del 1700 (Robertson y Labate, 2007).

Palabras clave: distribución, solanáceas, colonos europeos, comercio marítimo



Imagen 2: Posible distribución mundial después del siglo XVI. (Esquinas-Alcázar, 1995)

1.2 Taxonomía

La descripción botánica del tomate fue realizada por primera vez por el italiano Pietro Andrea Mattioli, perteneciente al jardín botánico de Padua, en Italia. El tomate aparece por primera vez en su herbario de 1554 (Nuez, 1995), y fue a partir de ese momento

cuando aparece descrito en más de un herbario botánico como el del Gerard en Inglaterra de 1597 o el de Matthiä de L. Obel en 1581.

No estaba claro si nuestra especie de estudio encajaría en el género *Lycopersicum* o en el *Solanum*, ya que eran percibidos diferentes. Fue el autor Linneo el que en el siglo XVIII incluyó *Lycopersicum* dentro del género *Solanum*, nombrando al tomate *Solanum lycopersicum*. En el año 1754 estableció el autor Miller el género *Lycopersion* y ubicó el tomate dentro de este, siendo así *Lycopersicum esculentum* Mill.´

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>

Tabla 1: Taxonomía del tomate según Hunkinzer, 1979.

1.3 DESCRIPCIÓN BOTÁNICA, FISIOLOGÍA Y MORFOLOGÍA

El tomate es una planta generalmente cultivada anualmente en la mayoría de sitios donde se cultiva. Puede tener un comportamiento rastrero, erecto o semi. Hay variedades con crecimiento determinado e indeterminado, pudiendo alcanzar 10 metros en un año. (Rick 1978). El tomate muestra una notable adaptabilidad a una amplia variedad de condiciones, según la latitud, tipo de suelo, temperaturas y métodos de cultivo. Es tolerable a la salinidad ya que funciona con valores en torno a 3 dS/m. Precisa de valores de temperatura superiores a 10°C, muy sensible a heladas y periodos de luz inferiores a 12h, tierra mal drenada y exceso de nitrógeno (Rick 1978).



Imagen 3: Planta de tomate *Solanum Lycopersicum* silvestre creciendo como hierba adventicia. Posible dispersión por semilla en excrementos de fauna Fuente: Imagen propia.

Factores que afectan al desarrollo de la planta:

El desarrollo de la planta depende de varios factores, como son la variedad, la iluminación, la temperatura, la humedad, la nutrición, el suministro de agua y la concentración de CO₂. En cultivos al aire libre se puede manejar el riego (normalmente por gotero programado) e introducir acolchados. Por otro lado en invernadero, se puede regular la temperatura mediante ventilación, así como el suministro de agua, elementos minerales, la concentración de CO₂...

1.3.1 PLANTA

Planta perenne de porte arbustivo, cultivada en ciclo anual, normalmente rastrera para para uso industrial y entutorada cuando es para tomate en fresco, no más de 2m de altura.

Algunas de las características exigibles para los tomates de consumo en fresco son:

Porte abierto de la planta: Los cultivares con hojas pequeñas y horizontales facilitan la aireación y evitan problemas sanitarios.

Precocidad: Interesan variedades altamente productivas pero que a la vez mantengan uniformidad en cuanto al tamaño del fruto. El hecho de que una variedad presente muchos frutos por racimo va a repercutir en la mayoría de los casos en una pérdida de uniformidad. La alta productividad está garantizada hoy por muchos híbridos ofertados por casas comerciales.

Precocidad: En los híbridos desarrollados para cultivo temprano en cualquier ambiente, tiene gran interés económico la precocidad, ya que la fruta conseguida en épocas más tempranas se paga mejor.

Calidad externa: forma, color y homogeneidad: Cualidades como la uniformidad en la forma y color son exigidas para cada variedad en función de las exigencias del mercado a las que se va a destinar el producto.

Calidad interna: cualidades gustativas, dulzura y jugosidad: Los factores más importantes para los consumidores resultaron ser según estudios y encuestas: textura, jugosidad, sabor y aspecto interno.

Adaptación al sistema y ciclo de cultivo: Las condiciones microambientales específicas creadas en el interior de los invernaderos y en general en cultivo protegido hacen que los genotipos no se comporte de la misma manera al aire libre. Uno de los factores responsables de esa diferencia de comportamiento es la luz. Así, a los cultivares desarrollados especialmente para invernadero se les exige que tengan aptitud para crecer, florecer, cuajar y desarrollar frutos de calidad en condiciones de baja luminosidad (Stevens y Rick, 1986).

Resistencia a enfermedades: Algunas de las más frecuentes son: *Fusarium oxysporum*, *Verticillium*, *Alternaria solani*, *Phytophthora infestans*, *Pseudomonas syringae*, ToMV (Virus del mosaico del tomate), TYLC (Tomateo Yellow Leaf Curl), *Meloidogyne sp.*



Imagen 4: Plantas de tomate en el cultivo bajo malla, donde se lleva acabo el estudio. Imagen: Fuente propia.

1.3.2 SEMILLA

Tiene forma lenticular con un diámetro que oscula entre 3 y 5 mm compuesta por un embrión, el endospermo y la testa. La testa está rodeada por un tejido duro e impermeable y el endospermo contiene los nutrientes necesarios para el desarrollo del embrión. (Maroto, 1994). La temperatura óptima para la germinación de las semillas de tomate se sitúa entre 20 y 25 grados, con un sustrato muy bien aireado.



Imagen 5: Semillas de tomate, fuente: Pinterest

1.3.3 RAÍCES

Compuesto por una raíz pivotante en profundidad, raíces secundarias y adventicias. En un corte transversal se aprecian la capa de epidermis, con los pelos absorbentes, el córtex y el cilindro central de cuyo xilema emergen las raíces secundarias. (Picken et al., 1986)

En las variedades de cultivo, se desarrolla la pivotante hasta 50 cm de prof y se expanden por un diámetro de 1.5m, aunque la gran mayoría se desarrollen en los primeros 20 cm de profundidad. Por lo que es importante un buen subsolado para favorecer el drenaje en la parcela. (Varga y Bruisma, 1986)

1.3.4 PARTE AÉREA

EL TALLO:

Consta de 2 fases de crecimiento: En las iniciales es delicado, herbáceo y cubierto de tricomas. A lo largo del desarrollo, se ensancha el tallo adquiriendo consistencia semileñosa y mostrando pelos glandulares. Puede alcanzar hasta 4 cm en madurez.

La estructura interna del tallo está compuesta por la epidermis, seguida por la corteza o cortex, donde las células más externas son fotosintéticas y tienen clorofila, por otro lado las internas pertenecen al clorénquima otorgando rigidez 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, desde donde salen primordios foliares y florales.

Los entrenudos del tallo, donde se engrosa el tallo entre 1 y hasta 6 cm y desde los cuales se originan hojas y tallos secundarios a partir de las axilas de estas. Esto contribuye al crecimiento y ramificación de la planta.

Algunos factores que pueden afectar a su desarrollo son por ejemplo la iluminación, en la cual un descenso induce a un aumento en la elongación a expensas de otras partes de la planta, que da lugar a tallos más delgados y débiles con una mayor proporción de tejido parenquimático. Cuando la iluminación es muy baja se reduce la altura de la planta. Por otro lado, la temperatura influye en la velocidad de elongación del tallo aumentándola (Calvert, 1964) dando lugar a tallos más delgados con mayor proporción de tejidos parenquimáticos y de agua. La temperatura óptima para la elongación del tallo es de unos 30° para las plantas jóvenes. A medida que las noches son más largas, la velocidad de elongación del tallo disminuye (Kristoffersen, 1963). Además, el enriquecimiento con CO₂ da lugar a plantas más altas (Hurd, 1968).

LAS HOJAS:

Crecen de forma alterna al tallo. 2 primeras simples y las siguientes empiezan a ser compuestas e imparipinnadas. Estas últimas pueden alcanzar una long, de hasta 50 cm y un anchura ligeramente menor que su largo. Suelen tener un gran foliolo terminal y hasta 8 foliolos laterales, que pueden ser compuestos a su vez. (Nuez, 1999)

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



Imagen 6: *En la foto, detalle de hojas y tallos, fuente propia.*

La iniciación del desarrollo de las hojas se produce a intervalos de 2-3 días, en función de las condiciones ambientales. En general, la producción de hojas y de primordios foliares aumenta con la radiación diaria y con la temperatura, siendo constantes cuando las condiciones ambientales lo son (Kinet, 1977).

Las hojas jóvenes, los primordios foliares y los meristemos apicales compiten por los fotoasimilados disponibles (Hussey, 1963)

LA FLOR:

La flor del tomate es hermafrodita, con 5 pétalos amarillos y compuesta por más de 5 sépalos y otros 5 estambres los cuales están adheridos y alternados con los pétalos, formando un cono estaminal que rodea al gineceo.

Las flores están agrupadas en inflorescencias que dan lugar a racimos simples o ramificados. Contienen entre 3 y 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).

En la yema apical se desarrolla la primera flor y debajo de la primera alrededor del eje principal se van disponiendo las siguientes. La primera inflorescencia en el tallo se suele dar a partir de la 5ta hoja, y entonces aparecen nuevas cada 2 o 3 hojas.

La diferenciación y desarrollo de la flor constituyen etapas previas a la fructificación y, en consecuencia, todos los factores que afectan a la floración pueden influir sobre la precocidad, rendimiento y calidad de los frutos. El hábito de ramificación de la planta también tiene una influencia determinante sobre la floración, produciéndose esta de forma prácticamente continuada en los cultivares de crecimiento indeterminado, mientras en los determinados lo hace en la época específica (Nuez 1999).

En los climas cálidos en verano y con buena iluminación, desde la germinación hasta la antesis de las primeras flores transcurren unos 45 días y otros tantos hasta el inicio de la

maduración del fruto. Las deficiencias minerales, particularmente en NPK, retrasan el desarrollo pudiendo provocar incluso el aborto de las mismas.



Imagen 7: *flor de tomate, apreciando sus sépalos y pétalos. Fuente: imagen propia.*

EL FRUTO:

Tiene una morfología tipo baya carnosa bilocular o plurilocular (según el nº de cavidades si son 2 o más), con forma globular o redondeada, chata o piriforme. Se desarrolla a partir de un ovario hasta alcanzar un peso final que en algunas variedades llega hasta medio kilo y con un calibre de entre 30 y 160 milímetros; lógicamente dependiendo de la variedad y forma de cultivo.

Su estructura está formada por el pericarpo, tejido placentario y semillas. Generalmente es rojo y la superficie puede ser completamente lisa o bien presentar muchas estrías y surcos. Los lóbulos carpelares ubicados en el interior varían entre 2 y 30. (Nuez et al. 1997). Desde la misma fecundación del ovario hasta la maduración transcurren entre 7 y 9 semanas.



Imagen 8: *Ejemplo de frutos de la variedad “de la pera”, de una línea objeto de este estudio. Imagen propia.*

CARACTERÍSTICAS DEL FRUTO

El tomate es mayoritariamente agua y los hidratos de carbono son su macronutriente principal, rico en vitaminas A y C y también en potasio. Muy abundantes en licopeno ya que es el pigmento que le otorga el color rojo, de hecho es un antioxidante potente. Sin

embargo, varía según la variedad y grado de madurez. Otros antioxidantes del tomate son la luteína y la zeaxantina.

Supone una importante fuente de fitosteroles, ayudando a reducir los niveles de colesterol en sangre inhibiendo parcialmente la absorción de colesterol en el intestino. Además, el contenido en tomatina es destacable ya que contiene propiedades antibacterianas, antimicóticas y antiinflamatorias (MAPA).

El contenido de azúcares (véase sólidos solubles) y acidez que son objeto de este trabajo determinan el sabor propiamente dicho de un tomate. La glucosa y la fructosa son los principales constituyentes, representando el 65% de los ácidos soluble totales. A mayor concentración de azúcares mayor intensidad de sabor. Los ácidos predominantes son el cítrico y el málico, para conferir una acidez equilibrada. Además, contiene minerales y otros compuestos en cantidades bajas.

Además, el contenido en azúcares experimenta un brusco crecimiento cuando el fruto alcanza un color amarillento y aumenta paulatinamente durante la maduración, por lo que la recolección prematura afecta negativamente al contenido en azúcares.

El sombreado, el descenso en la duración de la luz y la eliminación de las hojas disminuyen el contenido en azúcares. EL efecto de los macronutrientes sobre el contenido en azúcares es pequeño, si bien un exceso en nutrición nitrogenada afecta negativamente. (Nuez, 1999).

Macro-Micro nutriente	Por cada 100 gramos de porc. comestible
Hidratos de carbono	3.5 gr
Proteínas	1 gr
Fibra	1.4 gr
Vitamina A	82.3 picogr
Vitamina C	26 mg
Potasio	290 mg
Magnesio	10 mg
Fósforo	28 picogr
Calcio	11 picogramos
Hierro	0.6 mg
Tiamina	0.06 mg
Energía	22 Kcal

Tabla 2: Características nutricionales del tomate. (Datos de Moreira Et. Al 2013), elaboración propia.

1.3.5 Desarrollo fenológico.

Comienza en la germinación cuando la planta absorbe agua empezando así el crecimiento asociado a la emergencia de la radícula (Bewley y Black, 1982). Depende de la variedad, condiciones ambientales y de almacenamiento. La germinación está bajo control genético (Whittington y Fierlinger, 1972) y es más rápida en semillas más pequeñas. El almacenamiento de las semillas en condiciones normales de temperatura y humedad afecta poco a su viabilidad. Por otro lado, los tratamientos térmicos fungicidas y desinfectantes pueden disminuir la capacidad de germinación cuando no se efectúan correctamente (Rees, 1970).

La temperatura óptima para la germinación se encuentra entre los 20 y los 25° C (Mobayen 1980) La capacidad de germinación a temperaturas muy bajas o muy elevadas depende de la variedad. La germinación también se da en la oscuridad y en algunos cultivares resulta inhibida por la luz. Estos efectos están mediados por el fitocromo y dependen de las características de la radiación (Picken et al, 1986).

El desarrollo de la raíz a partir de semilla directamente en campo comienza con la formación de una vigorosa raíz principal pivotante que puede llegar a penetrar más de 3 metros bajo tierra. En cambio, cuando se siembra por transplante la raíz principal se daña y desarrolla un sistema de raíces secundarias laterales. Estas se desarrollan rápidamente con numerosas raíces laterales lo que facilita la reproducción de la planta mediante esquejes. Generalmente, el 70% de las raíces se localizan a menos de 20 cm de la superficie. Todas absorben agua, mientras los minerales se absorben por las raíces más próximas a la superficie. (Varga y Bruisma, 1986).

El descenso en el suministro de fotoasimilados a la raíz, como consecuencia del descenso en la actividad fotosintética de la parte aérea o de la fructificación. Reduce el aumento en materia seca, pero afecta poco a la absorción de iones y la respiración. (Crapo y Kettellaper, 1981).

El tallo principal comienza a crecer con estructura de simpodio. El tallo principal forma de 6 a 12 hojas, que crecen lateralmente con una filotaxia de 2/5, antes de que la yema principal se transforme en una inflorescencia. El crecimiento subsiguiente se produce a partir de la yema axilar de la última hoja, la cual desarrolla un tallo secundario que crece como una prolongación del tallo primario y desplaza lateralmente la inflorescencia.

La iniciación de las hojas se produce a intervalos de 2-3 días, aumentando la producción y primordios foliares en función de la temperatura y siendo mayor el espesor de la hoja cuanto mayor es la iluminación diaria durante la fase de iniciación y al principio de su expansión. (Hussey, 1963; Kinnet, 1977)

La iluminación continuada puede inhibir el crecimiento de las hojas que después desarrollan

1.4 SITUACIÓN ECONÓMICA ACTUAL DEL TOMATE

Es una de las hortalizas más cultivadas y distribuidas y de mayor valor económico (Cuarteto, 2001; visto en García Martínez, 2006).

Es un cultivo muy polivalente y con buena adaptación a distintos factores, moderadamente tolerable a la salinidad del agua y del suelo (Nuez, 1995)

Principalmente para consumo en fresco, pero muy apto para productos derivados de tipo industrial como conservas y procesados de salsas. En este estudio nos vamos a centrar en las producciones para fresco.

1.4.1 A NIVEL MUNDIAL.

El total en el mundo en el año 2023 fue 5 412 458 hectareas cultivadas, y una producción de 192 317 973 toneladas.

El total en Europa fue de 395497 hectáreas, con una producción de 21474751.88 Tn, produciendo rendimientos medios de 54298.1 Kg/Ha.

En el año 2024, Marruecos superó a España en la exportación de esta hortaliza, lo que coloca a España en cuarto lugar en la exportación. En el año 2024 el valor de volumen de tomate exportado fue de mas de 11 500 millones de euros. El país que fue líder en exportación fue Mexico, con la cuarta parte del valor del tomate con 2063 millones de kilos, incrementando sus exportaciones en un 32.23%. En segundo lugar quedó Países Bajos con 916,11 millones de kilos, suponiendo el 11.21 % del total mundial. Paralelamente, Marruecos

Fuente: Freshplaza.

VALOR ECONÓMICO DE LA PRODUCCIÓN

A nivel mundial en el año 2023 el valor de la producción de tomate se redujo en 14 mil millones de euros, hasta los 107 264 millones. En ese cómputo, la producción de España fue de algo más de 2 mil millones

China lideró la producción con un valor de más de 30mil millones de dólares, EEUU quedó segundo con 12.6 mil millones, Turquía en 3er lugar con 5500 millones, Italia en 4to puesto con 5175 millones, México el 5to con 2295 millones y España queda en 6to lugar con 2079 millones. Todo cifras de la FAO expresadas en dólares.

<https://www.freshplaza.es/article/9729735/en-2024-marruecos-supero-a-espana-en-exportacion-de-tomate-en-valor/>

Valor produccion mundial tomate 2023	
Países	Euros
China	32.826.053.568
EE. UU.	12.649.726.320
Turquía	5.562.305.364
Italia	5.175.837.744
México	2.295.387.864
España	2.079.170.940
Portugal	1.784.103.552
Uzbekistán	1.780.185.792
Japón	1.517.801.208
Egipto	1.214.265.360

Tabla 3:10 primeros valores de la producción de tomate en 2023 Fuente: Hortoinfo.

1.4.2 A NIVEL EUROPEO

En cuanto a países europeos, lidera Italia, le sigue España, Portugal en 3er puesto, Países Bajos en 4to lugar con 1 079 millones de valor en dólares.

El total en Europa fue de 395497 hectáreas, con una producción de 21474751.88 Tn, produciendo rendimientos medios de 54298.1 Kg/Ha

En Francia se obtuvieron 656190 tn, en una superficie de 5920 hectareas, dando rendimientos de 110842.9 Kg/Ha

1.4.3 A NIVEL NACIONAL Y REGION LEVANTE

Según datos de la FAO, en España se cosecharon más de 50000 Ha de tomate, con una producción de 3968460 toneladas, dando unos rendimientos de 79226.6 Kg/Ha

En el año 2024, se cosechó para industria 3060 millones de kg, aumentando el 2023 un 18%. El principal productor en España de tomate para industria es Extremadura, que aportó 2370 millones de kilos y Andalucía alcanzó los 389 millones de kg.

En el caso del tomate en fresco, hay diferencias entre las campañas de invernadero (ciclo de invierno) y campo (ciclo primavera-verano): En la campaña de verano se recolectaron algo más de 350 mil toneladas, que cae respecto a los últimos años. Por otro lado en la campaña de invernadero hubo una producción de 1.27 millones de toneladas

Fuente: F&H Hortofrutícola.

Datos para campaña 2023-24: La superficie de tomate en invernadero se estimó en 14780 Ha, siendo Andalucía la que lidera la clasificación, le sigue la Región de Murcia, Comunidad Valenciana en 3er lugar. A nivel nacional, se experimentó un aumento del 2.9%.

Por otro lado la producción en millones de toneladas, el tomate está líder en producciones de invernadero, con más de 1,2 millones de tn, con Andalucía a la cabeza, Murcia en 2do puesto y Comunidad Valenciana en 3er lugar.

En 2024, España exportó 673 millones de kg, que generaron 1100 millones de euros siendo las 3 principales provincias exportadoras Almería, Granada y Murcia respectivamente. Nuestro principal cliente de tomate fue Alemania que compró el 26.3% de la producción de invernadero.

En las importaciones de enero a octubre del 2024, fue una cantidad de 173.6 millones de Kg con Portugal como principal proveedor.

En Extremadura, la superficie dedicada al cultivo de tomate industrial fue de 22742 hectáreas (julio 2024). De forma general, se obtuvieron 2,081 millones de toneladas, siendo los rendimientos reales de 88.27 tn/Ha

Merece especial atención el caso de la provincia de Almería, dada la enorme superficie dedicada a los invernaderos en El Ejido comúnmente conocida como el “mar de plástico”. En la campaña 2023-24, había cultivadas en invernadero 8568 Ha, dando una producción de 760 400 toneladas suponiendo un incremento del 10% respecto a la campaña del año anterior.



Imagen 9: Imagen mapa del “mar de plástico” de El Ejido (Almería). Fuente: Google Earth

1.5 VARIEDADES TRADICIONALES

1.5.1 ORIGEN Y CARACTERÍSTICAS DE LAS VARIEDADES TRADICIONALES

El tomate ha experimentado una evolución en parte debido a la selección llevada a cabo por productores. Reunían una combinación de semillas de diferentes plantas para emplearlas en el siguiente ciclo de cultivo. Este método de selección parecida a lo que se conoce como selección **masal**, ha sido fundamental en el desarrollo de variedades tradicionales (Frankel y Soulé, 1981)

Las poblaciones de tomate han enfrentado distintas condiciones agroclimáticas, lo que ha promovido una evolución diferencial mediante adaptación a entornos locales. Esta capacidad adaptativa es crucial para la definición de variedades tradicionales (Frankel y Soulé, 1981)

La diversificación del cultivo de tomates se promovió gracias a la combinación de la selección artificial realizada por cultivadores y el mecanismo de selección y adaptación al entorno. Este proceso condujo al desarrollo progresivo de una amplia variedad de lo que hoy se conoce como variedades tradicionales o locales. El método de selección ha resultado en una estructura genética bastante heterogénea, lo que les otorga una mayor estabilidad frente a condiciones de estrés. En los sistemas agrícolas homogéneos todos los individuos reaccionan de manera similar a las variaciones, lo cual 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.

1.5.2 EROSIÓN GENÉTICA DE LOS MATERIALES TRADICIONALES.

A mediados del siglo XIX se dio lugar a los programas formales de mejora genética que 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 conllevó a la sustitución de variedades tradicionales por mejoradas genéticamente que derivó en pérdida de diversidad en un fenómeno llamado pérdida de diversidad, fenómeno conocido como erosión genética.

El redescubrimiento de las leyes de Mendel en 1900 por los botánicos Hugo de Vries, Karl Erich Correns y Eric Von Tschermak significó un 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 pionero en describir el fenómeno de la heterosis en este cultivo. Pocos años después, H.G Wallace identificó el potencial de los híbridos, ya que las poblaciones híbridas eran incompatibles con el método tradicional de los agricultores de guardar semillas y replantar al año siguiente. Sobre los años 30 del siglo XX, se volcaron muchos esfuerzos en la obtención de las semillas F1 (Alaboulette 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 (Drost, 1946)

Conforme avanzaron los avances en mejora genética más rápido fue el proceso de erosión genética. En consecuencia, las selecciones realizadas sobre las poblaciones y la posibilidad de que fueran evolucionando también iban desapareciendo. Se da lo que se conoce como la paradoja del mejorador, en la cual la pérdida de diversidad de variedades tradicionales es consecuencia de la mejora genética (Hawkes et al., 2000)

La aparición de empresas dedicadas a la producción de semillas hortícolas aumentó significativamente en EEUU y en 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 homogenización de los materiales cultivados (Fernandez-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 había ido evolucionando e incorporando genes de resistencia frente a agentes bióticos (Hajjar y Hodgkin, 2007). Sin embargo las variedades tradicionales, adaptadas a las inclemencias bióticas específicas de las 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 las variedades cultivadas 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 anteriores lo cual obliga a los agricultores a comprar estos productos para mantenerse competitivos. Actualmente hay una voraz competencia entre grandes corporaciones de semillas que ha resultado en detrimento de pequeñas casas (Howard, 2009).

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).

1.5.3 CARACTERÍSTICAS 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 prácticas agrícolas. En el caso del tomate, existen diversos factores que contribuyen a la pérdida sensorial en las variedades abiertas, 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 Losel, 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, 1998; Kinzer et al. 1990).

Durante la mayor parte de los programas de mejoras 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 de los materiales resultantes.

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 implique 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 menor producción con precio superior.

1.5.4 VARIEDAD DE TOMATE DE LA PERA.

El tomate tipo “De la pera” está formado por un conjunto de variedades que como su nombre indica, los frutos tienen forma aplanada y de alta calidad organoléptica que los hace singulares. Estas variedades se cultivan principalmente en la vega baja, generalmente sur de la provincia de Alicante y en la zona de la huerta de Murcia

El problema de esta variedad tradicional y que amenaza gravemente su supervivencia, es que es sensible a la mayoría de virosis que afectan al tomate, siendo muy difícil

cultivarlas, habiéndolas sustituido por variedades híbridadas F1 de la variedad (Nuez et al. 1999)

Figura: Algunos frutos de tomate pera correspondientes a una línea dentro de esta variedad de estudio. En este caso la 220-3 A. Claramente, se aprecia la forma aperada, en algunos casos más regular o en otro más irregular presenciando abultamiento más pronunciado o más estrecho.



Imagen 10: Frutos tipo “De la pera” de la línea del estudio.

1.6 VIRUS DEL RIZADO AMARILLO DEL TOMATE, *Tomato yellow leaf curl virus* (TYLCV)

El virus del rizado amarillo del tomate o de la cuchara, hizo aparición en Israel entre 1936 y 1940 (Cohen y Antignus, 1994). En 1948 se describen por primera vez sus síntomas característicos (Vasudeba 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 11: Imágenes virosis, fuente: *Tecnologías de la producción hortofrutícola y ampliación de cultivos hortofrutícolas. EPSO-UMH*

En 1959, en el Valle del Jordán (Israel), este virus causó la pérdida de la totalidad de los cultivos de tomate (Cohen y Antignus, 1994). En 1964, fue concluyó que el vector

transmisor del mismo fue la *Bemisia tabaci*, conocida como la mosca blanca, que es un vector frecuente en el resto de solanáceas (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). En España no se vio presencia hasta 1992, en invernaderos de Murcia y Almería (Moriones et al., 1993; Reina et al. 1994).

1.6.1 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 TYCLV presenta un problema tanto para las variedades comerciales como tradicionales de tomate, y las medidas preventivas contra la mosca blanca (*Bemisia tabaco*) no son completamente efectivas, la mejor forma de control es la mejora genética.

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	Scott y Hutton, 2015

Tabla 4: *Locis de resistencia al TYLCV identificados en especies silvestres.* Fuente: García Martínez, S.

Aumentar la resistencia mediante la combinación de genes parece ser una alternativa prometedora. Así la planta tendría diversas barreras para protegerse frente a la infección viral (Cabrera et al. 2021). De esta manera se puede obtener una solución más robusta y sostenible frente al TYLCV en cultivos de tomate.

1.7 PROGRAMA DE MEJORA GENÉTICA DE TOMATE DEL CIAGRO-UMH

La transformación del genotipo en variedades de plantas cultivadas es el proceso conocido como mejora genética vegetal (Frankel, 1958). Este proceso tiene como objetivo mejorar el rendimiento de la 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 tmte, 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 tomate 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 principal objetivo 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 (Hajas 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.

Debido a restricciones económicas la mejora de estas variedades no suelen ser prioridad para las empresas de mejora de semillas. La intervención de organismos públicos se hace fundamental para apoyar estos esfuerzos de investigación (Nuez y Ruiz 1999). Esto asegura que las variedades tradicionales y sus beneficios no se pierdan y que continúen contribuyendo a la sostenibilidad y resiliencia de la agricultura.

En 1998, la Escuela Politécnica superior de Orihuela inicia el programa de mejora genética para introducir genes de resistencia a las 3 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 fenotípica, 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)

En este programas se llevan a cabo estas etapas:

- Caracterización y evaluación agronómica de las variedades tradicionales y sus fuentes de resistencia.

- Cruzamientos de variedades tradicionales y fuentes de resistencia para combinar características deseables.
- Retrocruzamiento para introducir los genes de resistencia deseados.
- Estabilización de los genes de resistencia en las nuevas líneas mediante selección.
- Identificación y selección de las mejores líneas con las mejores características agronómicas y de resistencia.
- 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 genética 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.

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

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

Tabla 5: Líneas inscritas en el registro de variedades protegidas y genotipo para los 3 genes de resistencia. Fuente: García Martínez, S.

1.7.1 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 genen o genes responsables de esta característica. Después del

cruzamiento, la progenie hereda el gen deseado y la mitad del genotipo de cara 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). 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).

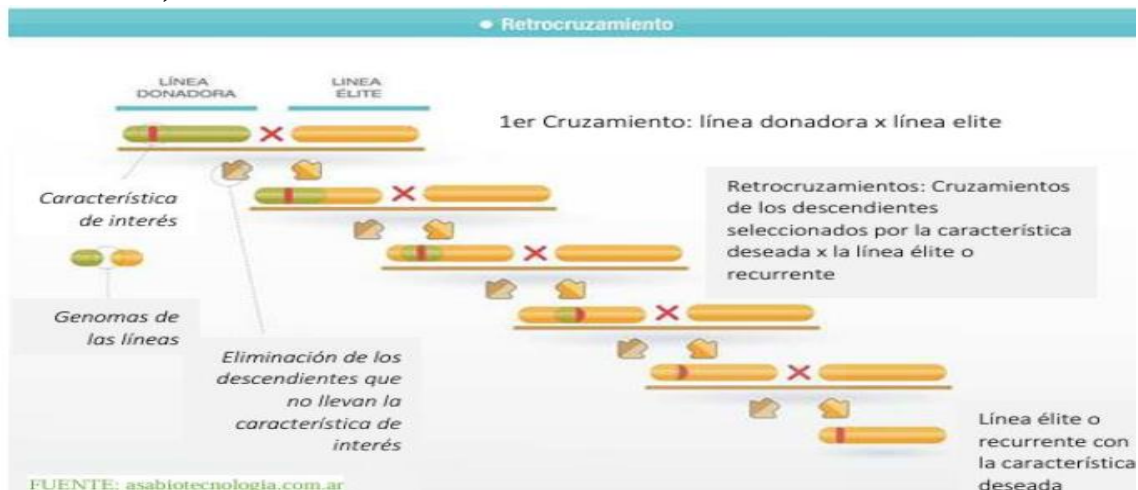


Imagen 12: Proceso de recuperación del genoma de una variedad (línea élite) tras el cruce con otro parental que contiene el gen de interés mediante retrocruzamientos (Calabuig Sena, 2016)

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, se llama carga de ligamento.

Este segmento adicional puede contener 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.

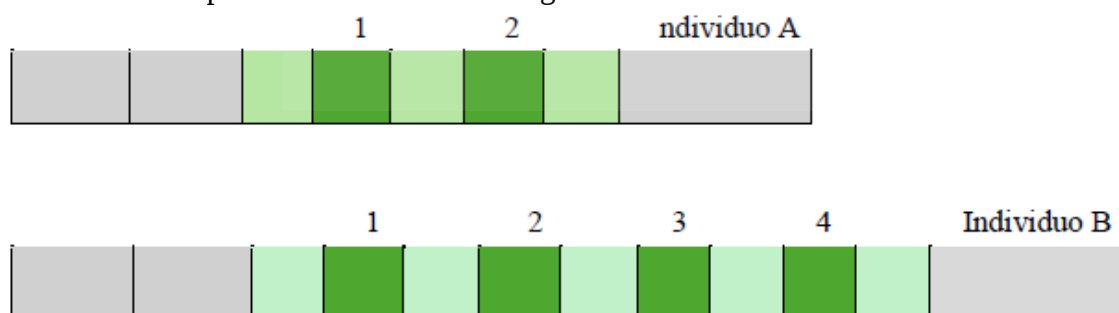


Imagen 13: Se presenta la integración de fragmentos introgresados (mostrados en gris) en el genoma de 2 individuos, cuyo base genómica se presentará en color verde. Los números indican diferentes genes, siendo el gen de interés el identificado con el número 1 en ambos casos. Los genes restantes no son 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 (Garcia Martinez et al. 2011, Garcia-Martinez et al. 2012)

En el programa de Mejora Genética de la EPSO, se lograron introducir exitosamente los genes Tm-2 a (que confiere tolerancia al ToWV) y Sw5 (tolerancia al TSWV) sin efectos negativos en los caracteres agronómicos y de calidad, 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, Garcia-Martinez et al. 2015, García – Martinez et al., 2015, García-Martinez 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 TYCLV es menor (García-Martinez et al. 2014; García-Martinez et al., 2015; García-Martinez 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.

1.8 LINEA 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 pera, incorporando un nuevo gen de resistencia al TYLCV, denominado ty-5. En este ámbito de investigación se está evaluando el impacto de 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 2 líneas de mejora, en nuestro caso la 175 y 220 y, para cada una de ellas, se han generado 4 genotipos diferentes mediante la recombinación.

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 (véase el contenido de sólidos solubles y la acidez titulable). Las líneas de mejora se han desarrollado dentro del programa de mejora genética del CIAGRO-UMH y se cultivaron en un invernadero de malla durante el ciclo primavera-verano del 2023.



3. MATERIALES Y METODOS

3.1 MATERIAL VEGETAL EMPLEADO

Se han utilizado 2 grupos de líneas de mejora de tomate Pera (175 y 220), que presentan las 4 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.

Tabla 6: Lineas y genes introducidos. Fuente: elaboración propia

Líneas	GENES DE RESISTENCIA			
	Tm-2a	Sw-5	Ty-1	ty-5
175-1	RR	RR	RR	rr
175-2	RR	RR	ss	SS
175-3	RR	RR	ss	rr
175-4	RR	RR	RR	SS
220-1	RR	RR	RR	rr
220-2	RR	RR	ss	SS
220-3	RR	RR	ss	rr
220-4	RR	RR	RR	SS

A su vez, dentro de las líneas se dan las repeticiones A-B-C-D, por ejemplo 175-1 A, 175-1 B.



Imagen 14: Ejemplo de una de las repeticiones del ensayo.

3.2 CONDICIONES DE CULTIVO

El ensayo fue realizado en un invernadero de malla en el ciclo primavera-verano de 2023 dentro del campus de la Escuela Politécnica Superior de Orihuela, ubicada en la pedanía Oriolana de Desamparados.



Imagen 15: Plano aéreo de las instalaciones, superficie de aprox 900m² de cultivo.

3.2.1 INSTALACIONES

El invernadero utilizado es de malla con cubierta de tipo multicapa, a 2 aguas y simétrica, cuyas medias son de 26 metro de ancho, 36 metros de largo, 4 metros de altura de paredes y 5 metros hasta la cumbrera.

Dispone por supuesto de su pequeño cabezal de riego con programador, depósitos de fertirrigación y tuberías terciarias.



Imagen 16: Vista lateral del invernadero de malla de la EPSO. Fuente: propia.

3.3 PRÁCTICAS DE CULTIVO

3.3.1 SEMILLERO (7-2-2023)

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



Imagen 17: Bandeja con plántulas de semillero, listas para plantar. Fuente: Imagen propia.

3.3.2 PREPARACION DEL TERRENO

Unos meses antes del transplante, se aplicaron 2kg/m^2 de estiércol de oveja comercial como abono de fondo, seguido de una labor con subsolador y otra con rotovator, con el fin de incorporar la materia orgánica, favorecer el drenaje y otorgar una textura adecuada al suelo. En campañas anteriores, se realizó una desinfección del suelo utilizando cloropicrina y dicloropropeno, pero en esta campaña no se llevó a cabo lo que podría explicar los problemas de hongos.

Finalmente, una semana antes del transplante, se llevó a cabo una limpieza y laboreo del suelo en el cual preparar las líneas de cultivo donde instalar la línea de riego y finalmente plantar los cepellones.



Imagen 18: Líneas de cultivo con los cepellones recién plantados. Fuente: Propia

3.3.3 TRANSPLANTE (4-4-23)

El transplante se realizó el día 4 de abril, cuando las plántulas tenían entre 40 y 60 días, aquí ya transplantadas:



Imagen 19: *Labores de plantación a comienzos del ensayo, trabajo en grupo. Fuente: Imagen propia*

3.3.4 MARCO DE PLANTACIÓN, ENTUTORADO Y PODA

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 por m²

El entutorado es una técnica de conducción/formación de la planta para favorecer el crecimiento vertical, evitando que las hojas y frutos toquen el suelo. Fomenta la aireación de las plantas y el paso de luz solar e influye en la obtención de frutos de tivo amayor calidad. Además, facilita la aireación y recolección. Se utiliza hilo que amarra a la planta desde las primeras ramas hasta la parte superior del emparrillado. Mientras crece, se va atando mediante anillas de plástico.



Imagen 20: *Plantas de tomate bajo malla, con unas 3 semanas, ya amarradas con la guía tutor. Fuente: Imagen propia*



Imagen 21: *Tomatera amarrada entutorada con anilla donde se aprecia un corte de yema axilar*

En la poda, se emplea una guía o tallo único para las plantas, eliminando semanalmente los brotes laterales o laterales cuando aún son lo suficientemente pequeños para que las cicatrices sean lo más leves posibles y reducir infecciones. Además, el material de poda se desinfecta con lejía a la mayor frecuencia posible para evitar la transmisión de virus.

3.3.5 FERTIRRIGACIÓN Y SANIDAD VEGETAL

Para aplicar una fertirrigación óptima, se ha considerado la calidad del agua y la composición química de los fertilizantes utilizados. El agua de riego proviene de la balsa que encuentra en la parte superior de la parcela de la EPSO, que a su vez se abastece de la comunidad de regantes “Puertas de Murcia” proveniente del río Segura y pozos. Con riego por sistema de gotero de emisores autocompensantes y antidreneantes de 2l/h. Las necesidades de riego se obtuvieron en función de la evapotranspiración de referencia (ET_o) y el coeficiente de cultivo (K_c) ajustando los tiempos de riego según la fase de desarrollo de cultivo.

De manera similar al riego, la fertilización también se adaptó a las distintas fases de crecimiento del cultivo, empleándose 3 soluciones nutritivas diferentes a lo largo de la campaña, lo que generó 3 etapas distintas de fertilización:

Primera etapa, que comprende desde el transplante hasta la aparición del tercer racimo floral. La segunda, que abarca desde 3er racimo florar hasta cambio de color. Por último la 3era que comprende desde las primeras tonalidades rojizas hasta el fin del cultivo.

Se aplicaron los siguientes fertilizantes:

375 N – 225 P₂O₅ – 550 K₂O – 192 CaO

Las proporciones de macronutrientes en UF aplicadas en cada etapa fueron:

Etapas 1: 1 N – 2 P₂O₅ – 1K₂O – 1 CaO

Etapas 2: 1 N - 1 P₂

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*)

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

Tabla 7: Lista de los productos con sus principios activos.

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 madurez óptimo para consumir. De cada planta recolectada se anotaba el número de frutos y peso total de los mismos, para obtener el peso medio por fruto, además de su producción total de cada mata.

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

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

Tabla 8: Calendario de labores

3.5 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. El sumatorio de ambos grupos permitió obtener los valores totales de la producción.

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 (por ejemplo: línea **175-1 A**, repetición sería **1 A**), línea y orientación. Para cada repetición, se prepararon 4 muestras, cada una compuesta por 4 frutos en mejores condiciones, que se trocearon y licuaron con una batidora de cocina. El producto licuado se depositó en tubos Falcon de 50 ml, que fueron etiquetados con información de la línea y repetición correspondiente. Finalmente los tubos se almacenaron en gradillas dentro de un congelador a -18ª para ser analizados posteriormente.



Imagen 22: Tubos de ensayo en gradilla con el tomate triturado, listo para congelar.

Fuente: Propia.

Para medir el contenido de sólidos solubles y acidez, las muestras se dejaron descongelar a temperatura ambiente. Luego, se equilibró el peso de las muestras en parejas antes de introducirlas a la centrifugadora, donde se sometieron a rotación a 4000 r.p.m durante 1 minuto. Al terminar, la mayor parte de la pulpa y el extracto sobrenadante quedan por separado en el tubo, así se retiró la mayor parte de la pulpa y el sobrenadante se separaron

en el tubo, por lo que se pudo retirar buena cantidad de pulpa. Después se reequilibraron los pesos de las muestras en parejas y se sometieron a otro centrifugado a otras 4000 r.p.m durante 6 min con el fin de sacar toda la pulpa posible del sobrenadante.



Imagen 23: La centrifugadora del laboratorio donde se colocaron los tubos de ensayo.

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. 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 2 ocasiones para garantizar resultados.



Imagen 24: Refractómetro Atago.

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. La muestra se disolvía en agua destilada, y luego se introducía en 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 25: Sonda de pH Crison. Fuente: *crisoninstruments.com*

3.6 TRATAMIENTO ESTADÍSTICO

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 aplica el contraste post-hoc de Tukey o el gráfico de interacción, dependiendo del caso, para determinar las diferencias entre los valores medios de cada tratamiento. Los análisis fueron realizados con el programa informático Statgraphics Centurion XVI.II.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se presentan los resultados con su interpretación y discusión de estos para los parámetros exactos.

4.1 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 2 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.

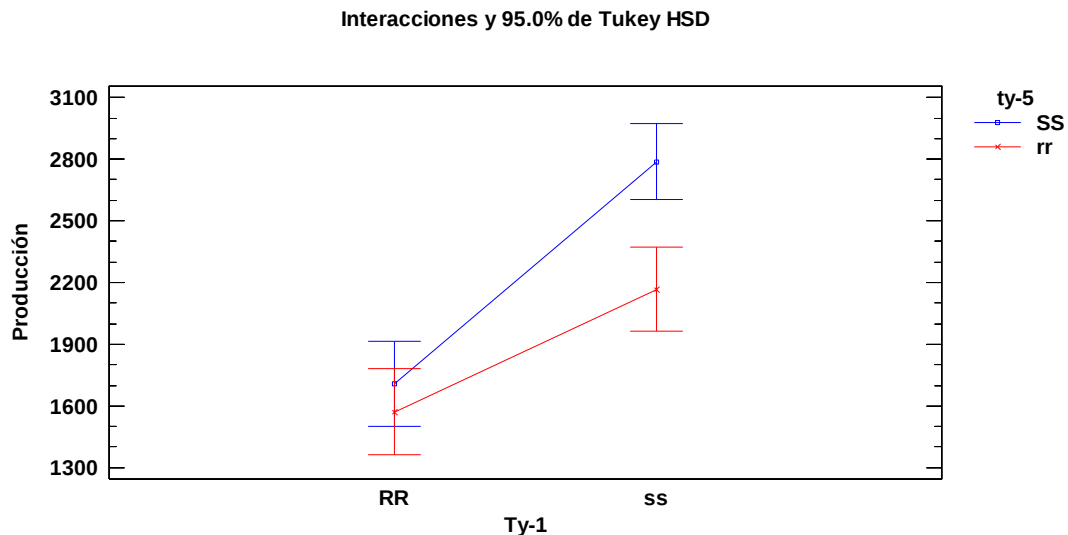
4.1.1 PRODUCCIÓN.

En primer lugar, se analizó el parámetro de producción total. Para ello, se llevó a cabo un análisis estadístico utilizando la prueba de análisis de varianza multifactorial. Como se muestra en la **tabla** el valor “p” obtenido fue menor a 0.05 tanto para el gen ty-5 como para el gen Ty-1, lo que indica la presencia de diferencias significativas entre los genotipos correspondientes a estos 2 genes. El valor “p” de la interacción también es inferior a 0.05, lo que indica que hay interacción significativa entre los dos genes.

Tabla 9: Analisis de varianza empleando los genes como factores para la variable *producción*.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Ty-1	3.0757E7	1	3.0757E7	58.24	0.0000
B:ty-5	6.23937E6	1	6.23937E6	11.82	0.0007
INTERACCIONES					
AB	2.56913E6	1	2.56913E6	4.87	0.0287
RESIDUOS	9.13558E7	173	528068.		
TOTAL (CORREGIDO)	1.33736E8	176			

Como la interacción ha sido significativa, se utiliza el gráfico de interacción (Figura X)



Gráfica 1: Gráfico de interacción de la producción (g/planta).

4.1.2 NUMERO DE FRUTOS POR PLANTA.

Como se muestra en la **tabla**, el valor “p” obtenido fue menor de 0.05 solo para el Ty-1, lo que indica la presencia de diferencias significativas entre los genotipos de este gen. No se han encontrado diferencias significativas para el ty-5. La interacción tampoco ha sido significativa.

Tabla 10: Análisis de la varianza multifactorial para el número de frutos recolectados por planta

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Ty-1	4116.05	1	4116.05	24.12	0.0000
B:ty-5	451.834	1	451.834	2.65	0.1055
INTERACCIONES					
AB	35.632	1	35.632	0.21	0.6483
RESIDUOS	29526.6	173	170.674		
TOTAL (CORREGIDO)	34312.1	176			

Como se puede ver en la tabla X, existen diferencias significativas para el Ty-1, siendo mayores para el genotipo ss por el numero de frutos.

Por otro lado, para el gen ty-5, no se han encontrado diferencias significativas entre los genotipos rr y SS.

Tabla 11: Test de rango múltiple Tukey para el número de frutos recolectados por planta.

Medias con distinta letra son distintas ($p < 0,05$).

Gen	Genotipo	Casos	Media (Frutos/planta)	Grupos Homogéneos
Ty-1	RR	82	36.1548	A
	ss	95	45.8473	B
ty-5	rr	83	39.3953	A
	SS	94	42.6067	A

4.1.3. PESO MEDIO DE FRUTOS.

El valor P está indicando que hay diferencias significativas entre los 2 genes, la interacción también es significativa.

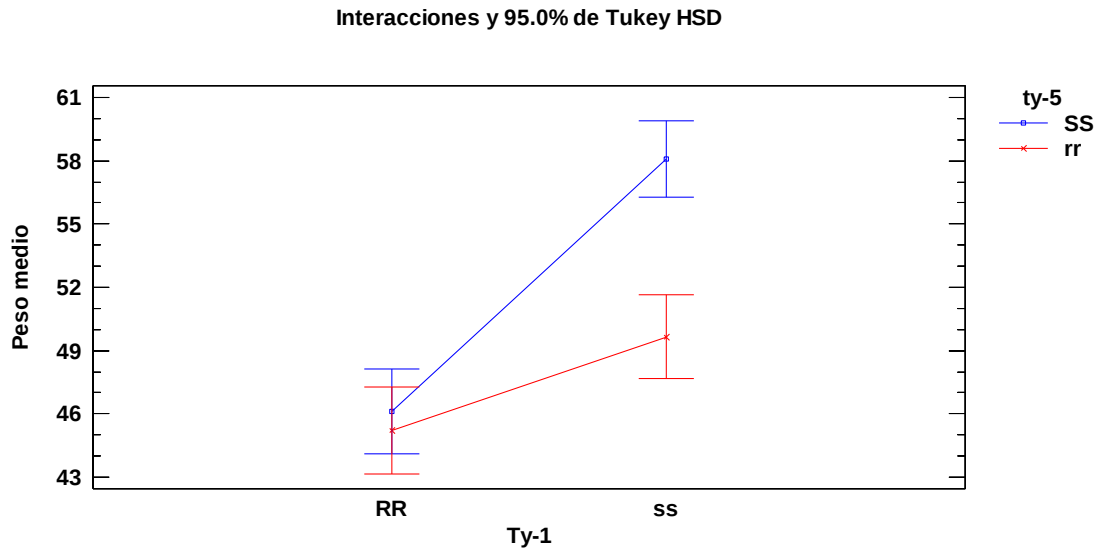
Tabla 12: Análisis de la varianza multifactorial para el peso medio de los frutos

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Ty-1	2959.6	1	2959.6	58.45	0.0000
B:ty-5	954.447	1	954.447	18.85	0.0000
INTERACCIONES					
AB	625.567	1	625.567	12.35	0.0006
RESIDUOS	8759.73	173	50.6343		
TOTAL (CORREGIDO)	13716.1	176			

Para el genotipo resistente a ty-5 (línea roja), el genotipo resistente a Ty-1 tiene un peso medio ligeramente inferior que el genotipo susceptible a Ty-1.

Para el genotipo susceptible a ty-5 (línea azul), el genotipo rr a Ty-1 tiene un peso medio claramente inferior al del susceptible a Ty-1.

Para el genotipo RR a Ty-1 no existen diferencias significativas entre genotipos a ty-5, sin embargo, para el genotipo susceptible (ss) a Ty-1, existen diferencias significativas entre los genotipos a ty-5, siendo susceptible el que tiene mayor peso medio.



Gráfica 2: Gráfico de interacción del peso medio de los frutos (g/fruto).

4.2 CARACTERES DE CALIDAD.

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 2 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 CONTENIDO SOLIDOS SOLUBLES

Como se muestra en la **tabla 13**, el valor “p” obtenido fue menor de 0.05 para los 2 genes, lo que indica la presencia de diferencias significativas entre los genotipos de ambos genes Ty-1 y ty-5. La interacción ha sido significativa entre ambos.

Tabla 13: Análisis de la varianza multifactorial para el contenido de sólidos solubles

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Ty-1	5.53993	1	5.53993	42.35	0.0000
B:ty-5	1.05841	1	1.05841	8.09	0.0052
INTERACCIONES					
AB	1.66021	1	1.66021	12.69	0.0005
RESIDUOS	16.0908	123	0.130819		
TOTAL (CORREGIDO)	24.2428	126			

Para el genotipo resistente a ty-5 (línea roja), el genotipo resistente a Ty-1 tiene menor contenido de sólidos solubles que el genotipo susceptible a Ty-1.

Para el genotipo susceptible a ty-5 (línea azul), no hay diferencias para el contenido de sólidos solubles entre genotipos RR y ss a Ty-1.

Para el genotipo RR a Ty-1 existen diferencias significativas entre genotipos a ty-5, siendo superior para el genotipo susceptible a ty-5. Para el genotipo susceptible a Ty-1, no existen diferencias significativas entre los genotipos a ty-5.

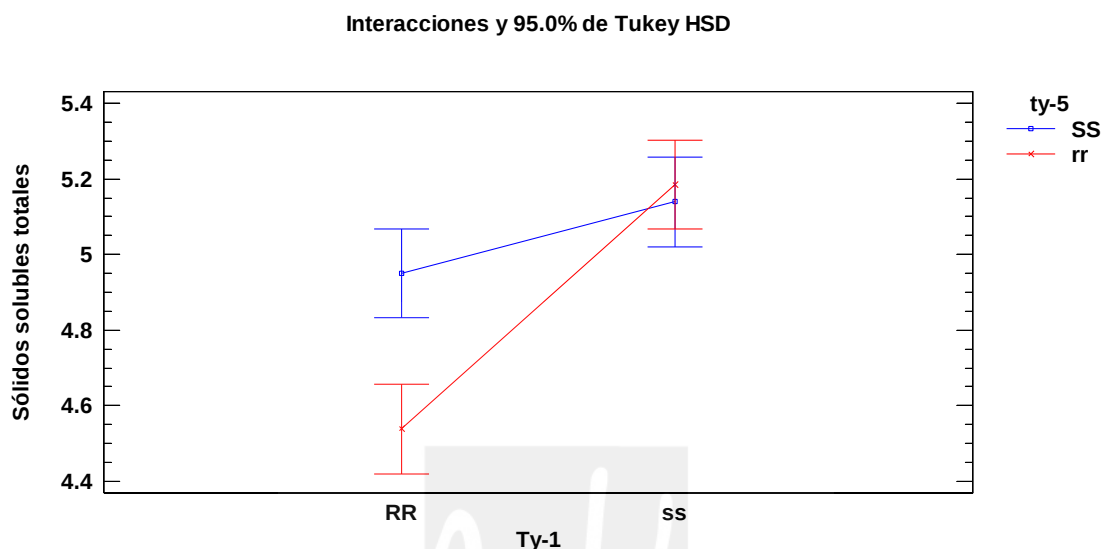


Gráfico 3: Gráfico de interacción del contenido de sólidos solubles (°Brix).

4.2.2 CONTENIDO DE ACIDEZ TOTAL

Como se muestra en la **tabla 18**, el valor “p” obtenido fue menor de 0.05 para los 2 genes, lo que indica la presencia de diferencias significativas para la acidez entre los genotipos de ambos genes Ty-1 y ty-5. La interacción ha sido significativa.

Tabla 14: Análisis de la varianza multifactorial para la acidez

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Ty-1	0.0885856	1	0.0885856	63.07	0.0000
B:ty-5	0.0178088	1	0.0178088	12.68	0.0005
INTERACCIONES					
AB	0.0272203	1	0.0272203	19.38	0.0000
RESIDUOS	0.172767	123	0.00140461		
TOTAL (CORREGIDO)	0.306897	126			

Para el genotipo resistente a ty-5 (línea roja), el genotipo resistente a Ty-1 tiene menor acidez que el genotipo susceptible a Ty-1.

Para el genotipo susceptible a ty-5 (línea azul), no hay diferencias significativas para la acidez entre genotipos RR y ss a Ty-1.

Para el genotipo RR a Ty-1 existen diferencias significativas entre genotipos a ty-5, siendo superior para el genotipo susceptible a ty-5. Para el genotipo susceptible a Ty-1, no existen diferencias significativas entre los genotipos a ty-5.

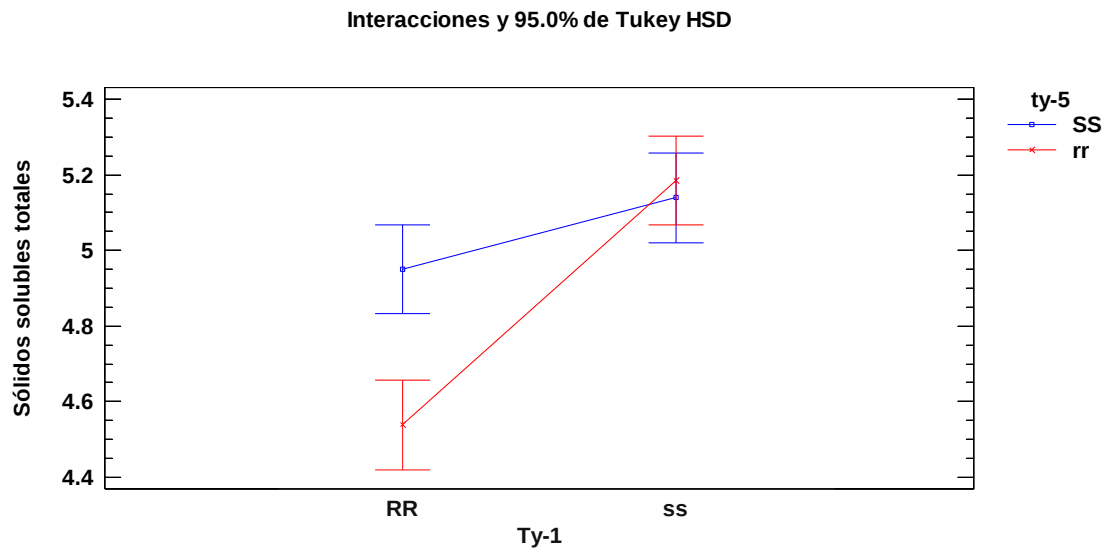


Gráfico 4: *Interacción de la acidez total.*



5. CONCLUSIONES

En los caracteres de producción y peso medio, la introducción de los genes Ty-1 y ty-5 afecta. Concretamente la introducción del gen Ty-1 disminuye la producción independientemente del genotipo a ty-5. La introducción del gen ty-5 reduce la producción solo cuando el genotipo a ty-1 es sensible.

En la variable “numero de frutos”, la introducción del Ty-1 reduce este parámetro.

Respecto de los caracteres de calidad, los sólidos solubles y acidez (°Brix) se ven influenciados negativamente por la introducción del Ty-1 cuando el genotipo a ty-5 es resistente. De la misma manera, la introducción del ty-5 afecta negativamente sólo cuando el genotipo a Ty-1 es resistente.



6. BIBLIOGRAFÍA

- Cabrera Miras, 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 (CUIA). Editorial: Universidad Miguel Hernández de Elche.
- Cebolla-Cornejo, J. (2005). Recuperación de variedades tradicionales de tomate y pimiento. Caracterización y Mejora genética. Universidad Politécnica de Valencia
- 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*
- Cubero, J.I. (2003). Introducción a la mejora genética vegetal. Mundi-Prensa.
- Datos estadísticos de la FAO, Food and Agriculture Organization, producciones, superficies y rendimientos en el mundo, Europa y España.
- Datos estadísticos de la FAO, Food and Agriculture Organization, producciones, superficies y rendimientos en el mundo, Europa y España.
- Coleman, W.K., Greyson, R.I. (1976). The growth and development of the leaf in tomato (*Lycopersicon esculentum*). *Canadian Journal of Botany*.
- Esquinas-Alcázar, J., Nuez, F. (1995). Situación taxonómica, domesticación y difusión. El cultivo del tomate. Ediciones Mundi Prensa.
- Fernandez-Munoz, R., Cuartero, J. (2005). Breeding tomato for pollen tolerance to low temperatures by gametophytic selection. *Euphytica*.
- Frankel, O.H. (1958). Plant breeding. *Journal of Australian institute of agricultural Science*.

- 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.
- Hortoinfo El: *valor de la producción de tomate se reduce en 14.000 millones en un año*. <https://hortoinfo.es/el-valor-de-la-produccion-mundial-de-tomate-se-reduce-en-14-000-millones-de-euros-en-un-ano/>.
- 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.
- Nuez, Fernando colab: Del Rincon, Angel, Tello, Javier: El cultivo del tomate, Ediciones Mundi-Prensa 1999
- Rodriguez, Rafael; Tabares, Jose Maria; Medina San Juan, Jose Antonio: Cultivo moderno del tomate, Ediciones Mundi-Prensa 2001.

