

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ

**ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ORIHUELA
GRADO EN INGENIERÍA AGROALIMENTARIA Y
AGROAMBIENTAL**



UNIVERSITAS

Miguel Hernández



**TOMATO ANALYZER: UNA HERRAMIENTA
UTIL PARA LA CARACTERIZACION
FENOTIPICA DEL FRUTO DE TOMATE EN
EL PROGRAMA DE MEJORA GENETICA DE
LA EPSO-UMH**

TRABAJO FIN DE GRADO

Septiembre 2019

Autor: Javier Gil Garcia

Tutores: Santiago García Martínez

Pedro Carbonell Cerdá

Resumen

En este trabajo se ha utilizado el programa informático Tomato Analyzer para evaluar varios parámetros de interés relacionadas con la forma de los frutos. Se han estudiado los frutos de líneas de mejora de tomate Muchamiel y De la pera, con resistencias a virus, obtenidas en el Programa de Mejora de la EPSO-UMH.

Con los resultados de este trabajo, y a falta de repetir o ampliar el estudio con otras líneas se puede afirmar que en las líneas De la Pera los parámetros mejor correlacionados con la forma típica De la pera serían PAM y Ov, mientras que con la punta en el extremo apical sería DAm, mientras que en las líneas Muchamiel, los parámetros mejor correlacionados con la Altura de hombros serían Ellip y SH, mientras que con la forma típica Muchamiel sería FSI I, FSI II, CFSI y Circ.

Palabras clave: Programa de mejora, Tomate De la pera, Tomate Muchamiel, Fenotipado, Procesado de imágenes.



Abstract

In this work, the Tomato Analyzer software program has been used to evaluate various parameters of interest related to the shape of the fruits. The fruits of tomato breeding lines Muchamiel and De la pera have been studied, with virus resistance, obtained in the EPSO-UMH Breeding Program.

With the results of this work, and in the absence of repeating or extending the study with other lines, it can be affirmed that in the De la Pera lines the parameters better correlated with the typical bell shape would be PAM and Ov, while with the Distal end Protrusion would be DAm. In the Muchamiel lines, the parameters best correlated with the Shoulder Height would be Ellip and SH, while with the typical Muchamiel shape it would be FSI I, FSI II, CFSI and Circ.

Keywords: Breeding program, De la pera Tomato, Muchamiel Tomato, Phenotyping, Image processing.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, dar las gracias al departamento de Biología Aplicada y Genética de la Escuela Politécnica Superior de Orihuela, por brindarme la oportunidad de realizar este trabajo con ellos, en especial a Santi, mi tutor.

También dar las gracias a Pedro por ayudarme en todo el proceso con el programa “Tomato Analyzer” y realizar unas gráficas donde se ven reflejadas de forma clara los resultados obtenidos.



INDICE

1	INTRODUCCIÓN.....	1-5
1.1	Referencia histórica, origen y distribución del tomate.....	1-5
1.2	Situación taxonómica.	1-6
1.3	Características botánicas y fisiológicas.	1-7
1.3.1	El sistema radical.	1-8
1.3.2	El sistema aéreo.	1-9
1.3.3	El tallo.....	1-9
1.3.4	Las hojas.	1-9
1.3.5	La flor.	1-10
1.3.6	El fruto.	1-10
1.3.7	La semilla.....	1-11
1.4	Importancia económica del tomate.	1-12
1.4.1	A nivel mundial.	1-12
1.4.2	A nivel nacional.	1-14
1.5	Variedades tradicionales.	1-16
1.5.1	El tomate Muchamiel.....	1-17
1.5.2	El tomate De la pera.....	1-19
1.6	Programa de mejora genética de la EPSO-UMH.	1-20
1.7	Línea en la que se engloba este trabajo.....	1-23
2.	OBJETIVOS	1-25
3.	MATERIALES Y MÉTODOS	1-26
3.1	Material vegetal utilizado.	1-27
3.2	Condiciones de cultivo.	1-28
3.3	Planificación de los ensayos.	1-29
3.4	Diseño experimental.....	1-29
3.4.1	Cortes longitudinales y ecuatoriales.....	1-30
3.5	Programa utilizado	1-30
3.6	Caracteres analizados en el ensayo.	1-31
3.6.1	Caracteres utilizados	1-31
3.7	FENOTIPADO VISUAL	1-36
3.8	Tratamiento estadístico.....	1-38
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	1-39
4.1	Parámetros desechados	1-39
4.2	Híbridos De la pera.....	1-40
4.3	Híbridos Muchamiel	1-43
5.	CONCLUSIONES.....	1-47
6.	BIBLIOGRAFÍA.....	1-48

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Referencia histórica, origen y distribución del tomate.

El centro de origen exacto del tomate no está claro, no obstante, se ubica actualmente en la costa occidental de Sudamérica, concretamente en la región Andina compartida por Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia y Chile. En esta zona se encuentran numerosas variedades silvestres en campos y zonas sin cultivar. Sin embargo, el cultivo, comercialización y consumo del tomate, estaba muy integrado y difundido en el imperio azteca, dando esto a entender que la domesticación fue alcanzada en la época precolombina.

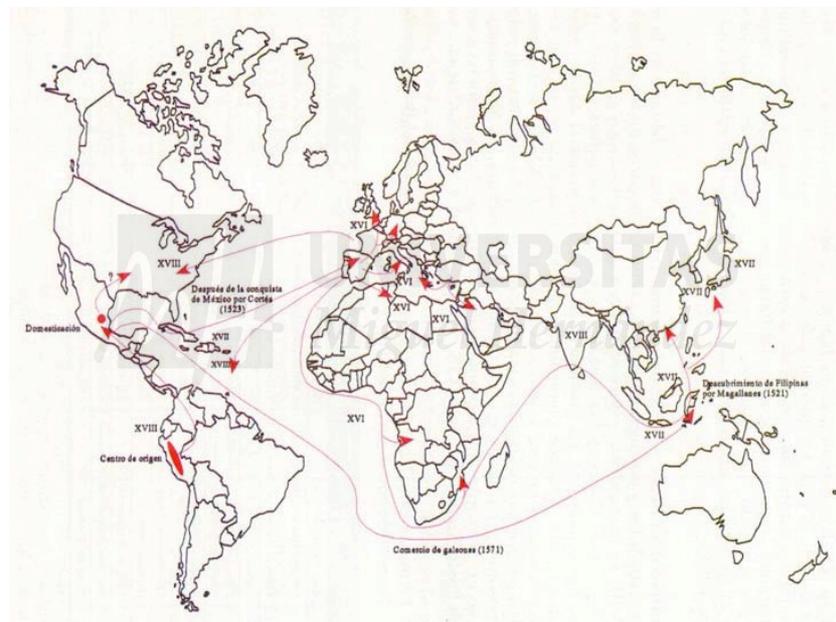


Figura 1: Posibles rutas de propagación del tomate a partir del siglo XVI (Basado en Esquinas–Alcázar y Nuez, 1995).

El término español para este fruto, “tomate” proviene de la lengua náhuatl surgida en el s. XII, y que se habla principalmente en México, por lo que se cree que fue su lugar de domesticación. La palabra náhuatl del que deriva el término español es *tómatl* que puede ser traducido como “agua gorda” o “fruto con ombligo” (Nuez, 1995).

El tomate, junto con el maíz, la patata, el chile y la batata fueron introducidos en España a principios del siglo XVI gracias a los viajes de Colón.

Probablemente, el tomate llegó en primer lugar a Sevilla, que era uno de los principales centros del comercio internacional, en particular con Italia. En 1544, el

herborista italiano Mattioli se refirió a los frutos amarillos de la planta del tomate como "mala aurea", manzana de oro, y más adelante, en 1554, mencionó una variedad roja. El mismo año, Dodoens, un herborista holandés, realizó una descripción detallada del fruto y éste se ganó la reputación de afrodisíaco. Esto explica los nombres como "ponme d'amour" en francés, "pomodoro" en italiano y "loveapple" en inglés.

La transformación de ingrediente medicinal en ingrediente culinario común empezó lentamente en el siglo XVIII. La primera receta napolitana publicada que se conoce para preparar "salsa de tomate al estilo español" data de 1692.

Sin embargo, la aceptación del tomate fue muy desigual. En España e Italia se utilizó en la alimentación humana prácticamente desde su introducción, mientras que en la mayoría de los otros países fue usado sólo como ornamental, por sus flores amarillas y bayas rojas o amarillas. La razón de esta marginación es que en el norte de Europa existía la creencia de que el tomate era venenoso, debido a las propiedades de las solanáceas europeas, muy ricas en alcaloides, en general con fuertes efectos somníferos, hemolíticos o paralizantes, cuando no mortales. Esta situación se mantuvo en algunos países, como Alemania, hasta principios del siglo XIX (Nuez, 1995).

1.2 Situación taxonómica.

La primera descripción botánica del tomate la realizó Pier Andrea Mattioli, del jardín botánico de Padua (Italia), quien publicó su herbario en 1554 (Nuez, 1995). Sin embargo, el espécimen de tomate más antiguo conservado en un herbario hasta la fecha actual se encuentra en el herbario de Ulisse Aldrovandi (herbario considerado como la colección más antigua existente de las plantas prensadas que fue comenzado en 1551 y ampliado por Aldrovandi a lo largo de su vida), ahora conservado en el herbario del Jardín Botánico de Bolonia (Peralta et al., 2008). Por lo tanto, la descripción botánica del tomate comenzó a mediados del siglo XVI. A partir de ese momento fue descrito en numerosos herbarios como el de Matthias de L'Obel en 1581, el de Gerard en Inglaterra en 1597 o el de Salmon ya en 1710 en Estados Unidos (Nuez, 1995).

Siempre se ha situado taxonómicamente al tomate en la familia de las solanáceas, aunque su ubicación genérica no ha sido así, se ha creado controversia. En 1700, Tournefort establece siete géneros reconociendo *Lycopersicon* como distinto de *Solanum*. Linnaeus (1754) en contra de la práctica común de su época incluyó *Lycopersicon* dentro del género *Solanum*. Simultáneamente Miller clasificó al tomate en

el género *Lycopersicon* denominándolo *Lycopersicon esculentum* Mill. (1754) diferenciándolo así del género *Solanum*. Tanto Jussieu (1789) en su *Genera Plantarum* como Wettstein (1895), en su sinopsis sobre las solanáceas mantuvieron el criterio de Linnaeus (1754) (D'Arcy, 1979; en Nuez, 1995).

Actualmente los estudios moleculares más recientes han colocado al tomate, previamente clasificado como indicó Miller en el género *Lycopersicon*, dentro del género *Solanum*, pasándose a denominar *Solanum lycopersicum* L. (Knappet *al.*, 2004).

El tomate es una planta que presenta flores radiales y con cinco estambres. El ovario es súpero, bicarpelar, con numerosos primordios seminales, produciendo bayas polispermas. Los carpelos se presentan en posición oblicua con respecto al plano mediano de la flor. Con la domesticación y cultivo es frecuente observar flores con mayor número de pétalos y sépalos, así como ovarios multiloculares.

Siguiendo a Hunziker (1979), la taxonomía generalmente aceptada es:

- ❖ Clase: *Dicotyledoneas*.
- ❖ Orden: *Solanales (Personatae)*.
- ❖ Familia: *Solanaceae*.
- ❖ Subfamilia: *Solanoideae*.
- ❖ Tribu: *Solaneae*.
- ❖ Género: *Solanum*.
- ❖ Especie: *lycopersicum*.

1.3 Características botánicas y fisiológicas.

El tomate es una planta perenne de porte arbustivo que se cultiva como anual, y puede desarrollarse de forma rastrera, semierecta o erecta. Presenta buen desarrollo en un amplio rango de latitudes, tipos de suelos, temperaturas y métodos de cultivo, y es moderadamente tolerante a la salinidad. Tiene preferencia por los ambientes cálidos, con buena iluminación y drenaje, siendo la exposición prolongada a temperaturas inferiores a 10 °C, la escarcha, una iluminación diurna inferior a las 12 horas, un drenaje deficiente o un abonado nitrogenado excesivo parámetros que le afectan negativamente (Chamarro, 1995).

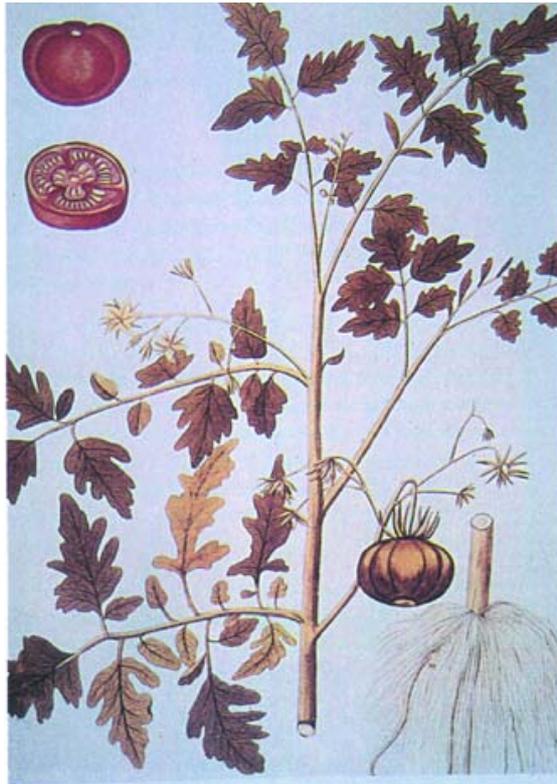


Figura 2: Representación de la planta del tomate en “Icones Plantarum Medicinalium” (Joseph Jacobi Plenck, 1788).

1.3.1 El sistema radical.

El sistema radical tiene como funciones la absorción y el transporte de nutrientes, así como la sujeción o anclaje de la planta al suelo. Está constituido por la raíz principal, las raíces secundarias y las raíces adventicias. Una sección transversal de la raíz principal pone de manifiesto la existencia de tres zonas claramente diferenciadas: la epidermis, el córtex y el cilindro central o vascular.

La epidermis está especializada en la absorción de agua y nutrientes y generalmente tiene pelos absorbentes, que son extensiones tubulares de células epidérmicas. Debajo de la epidermis se encuentra el córtex, un anillo de tres o cuatro células de espesor, siendo la capa cortical más interna constituyente de la endodermis, que establece el límite entre la corteza o córtex y el cilindro central o vascular. La capa más externa del cilindro central, que está en contacto con la endodermis es el periciclo, un tejido uniestratificado a partir del cual se forman las raíces secundarias.

Además de las características citadas, debemos destacar que cuando la raíz crece directamente de la semilla sin sufrir trasplantes, desarrolla una potente raíz principal que le permite adaptarse a ecosistemas semidesérticos, pero cuando la raíz principal se daña,

como por ejemplo a consecuencia del trasplante, se desarrolla un sistema de raíces laterales adventicias (Chamarro, 1995).

1.3.2 El sistema aéreo.

La estructura de la planta es la de un simpodio, es decir, los ejes sucesivos se desarrollan a partir de la yema axilar del eje precedente y la yema terminal da lugar a la inflorescencia o a ramas abortivas. 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 (Chamarro, 1995).

1.3.3 El tallo.

Los tallos son gruesos, pubescente, angulosos, de color verde (debido a que debajo de la epidermis se encuentra el córtex, cuyas células más externas tienen clorofila y son fotosintéticas), con nodos compuestos de dos o tres hojas y una inflorescencia. El tallo típico tiene 2-4 cm de diámetro en la base y está cubierto por pelos que salen de la epidermis. Al principio muestra una consistencia herbácea y leñosa en estado adulto. En el extremo del tallo principal se encuentra el meristemo apical, una región de división celular activa donde se inician los nuevos primordios foliares y florales. Tiene forma de cúpula y está protegido por las hojas recién formadas (Chamarro, 1995).

1.3.4 Las hojas.

Las hojas de la planta son compuestas, imparipinnadas con 7 a 9 folíolos y una filotaxia 2/5, siendo una hoja típica de unos 0,5 metros de largo, con algo menos de anchura, un gran folíolo terminal y hasta ocho grandes folíolos laterales que pueden ser compuestos. Los folíolos son usualmente peciolados y lobulados irregularmente con bordes dentados. Las hojas están recubiertas de pelos del mismo tipo que los del tallo, y son de tipo dorsiventral o bifacial. El envés contiene estomas que facilitan el intercambio gaseoso, siendo escasos en la parte superior (Chamarro, 1995).

1.3.5 La flor.

La flor del tomate es perfecta, regular e hipógina, y consta de 5 o más sépalos, de 5 o más pétalos dispuestos de forma helicoidal, de un número igual de estambres que se alternan con los pétalos y de un ovario bi o plurilocular. La floración del tomate se produce en forma de racimos simples o ramificados y en diferentes pisos o estratos, siendo lo normal que en cada inflorescencia pueda haber entre 3 y 10 flores, aunque en ocasiones pueden llegar hasta 50 de polinización autógama (Greyson y Sawhney, 1972; Nuez, 1995).

En cuanto a la floración, 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. Es un proceso complejo, afectado por varios factores entre los que destacan la variedad, la temperatura, la iluminación, la competencia con otros órganos de la planta, la nutrición mineral y los tratamientos con reguladores del crecimiento. El hábito de ramificación de la planta también tiene una influencia determinante sobre la floración, produciéndose ésta de forma prácticamente continuada en los cultivares de crecimiento indeterminado, mientras en los determinados lo hace en una época específica (Chamarro, 1995).

1.3.6 El fruto.

El fruto es una baya de forma globular, ovoide o aplastada, que se desarrolla a partir de un ovario de unos 5-10 mg y alcanza un peso final en la madurez que oscila entre los 5 y los 500gramos y un tamaño de entre 3-16 cm, en función de la variedad y las condiciones de desarrollo. El fruto adulto está constituido por el pericarpo, el tejido placentario y las semillas.

Los principales agentes del medio físico, como la temperatura, la luz y la humedad juegan un papel importante en la fecundación y cuajado del fruto: las condiciones óptimas para que se produzcan estos procesos pueden cifrarse en 14 – 17°C durante la noche y 23-25°C durante el día (Maroto, 2002).

El tiempo necesario para que un ovario fecundado se desarrolle a un fruto maduro es de 7 a 9 semanas, en función del cultivar, la posición en el racimo y las condiciones ambientales. El crecimiento se ajusta a una curva sigmoide simple que puede dividirse en tres periodos:

- ❖ El primer periodo, es el de crecimiento lento, dura 2 ó 3 semanas, y cuando termina el peso del fruto es inferior al 10% del peso final.
- ❖ El segundo periodo, de crecimiento rápido, dura 3-5 semanas y se prolonga hasta el inicio de la maduración. Hacia la mitad de este periodo, la velocidad de crecimiento es máxima y, al final de este, el fruto ha alcanzado prácticamente su máximo desarrollo.
- ❖ Finalmente, hay un periodo de crecimiento lento, de unas dos semanas, en el que el aumento en el peso del fruto es pequeño, pero se producen los cambios metabólicos característicos de la maduración.

Según un estudio adelantado por Stevens (2005) sobre las principales frutas y hortalizas, el tomate ocupa el lugar 16 en cuanto a concentración relativa de un grupo de 10 vitaminas y minerales. No obstante, su popularidad mundial, demostrada por el alto nivel de consumo se convierte a este cultivo en una de las principales fuentes de vitaminas y minerales en esta región, destacándose las vitaminas C y A.

Tabla 1: Composición nutritiva del tomate por cada 100 gramos de producto comestible, según Moreiras *et al.* (2013).

Composición nutritiva del tomate/100g de producto	
Agua	94%
Hidratos de carbono	3.5 g
Grasas	0.11g
Proteínas	1 g
Cenizas	0.3g
Otros (ácidos, licopeno, etc.,)	0.7g
Vitamina A	82.3µg
Vitamina B6	0.11 mg
Vitamina B12	0mg
Niacina	0.80mg
Vitamina C	26 mg
PH	4.5
Calcio	11 mg
Fósforo	27mg
Hierro	0.6 mg
Sodio	3mg
Potasio	290 mg
Valor energético	22 cal.

1.3.7 La semilla.

La semilla tiene forma lenticular y está constituida por el embrión, el endospermo y la testa o cubierta seminal. El embrión, cuyo desarrollo dará lugar a la planta adulta, está constituido a su vez por la yema apical, dos cotiledones, el hipocótilo y la radícula. El endospermo contiene los elementos nutritivos necesarios para el desarrollo inicial del embrión, y la testa está constituida por un tejido duro e impermeable, recubierto de pelos, que envuelve y protege el embrión y el endospermo.

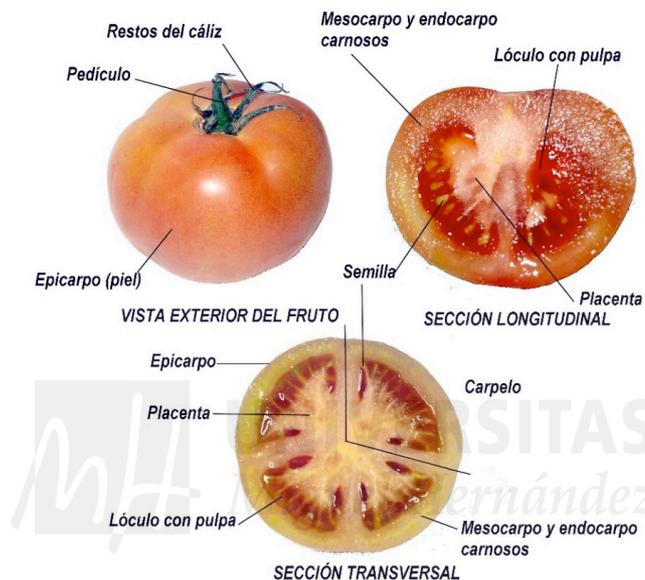


Figura 3: Vista exterior, Sección longitudinal, Sección Transversal del fruto del tomate. Fuente: Universidad Politécnica de Valencia.

1.4 Importancia económica del tomate.

1.4.1 A nivel mundial.

Es la hortaliza más importante en muchos países del mundo. Su cultivo está difundido a todos los continentes y en muchos casos representa una de las principales fuentes de vitaminas y minerales para las personas (Esquinas-Alcázar y Nuez, 1995). Se destina principalmente para consumo en fresco, pero también sirve como materia prima para elaborar diversos derivados, como pastas, sopas y deshidratados, entre otros (CORFO, 1986). A su vez, se ha producido un incremento en investigación y mejora del cultivo del tomate tanto por centros públicos como privados debido a esta importancia económica y social.

En los últimos 10 años la superficie cultivada alrededor del mundo aumentó un 14,6%, mientras la producción lo hizo un 26,2%. La diferencia entre la tasa de crecimiento de la superficie cultivada y la de producción se explica por un aumento en el rendimiento del cultivo. Dicho aumento se debe a las mejoras tecnológicas en el manejo del cultivo y a la disponibilidad de variedades de superior rendimiento. Este fenómeno se observa claramente en los datos que se presentan en la Tabla 2, donde se puede observar que en los principales países productores de tomate el rendimiento incrementó entre un 2 y un 31% en el período 2002-2012 (FAOSTAT, 2014).

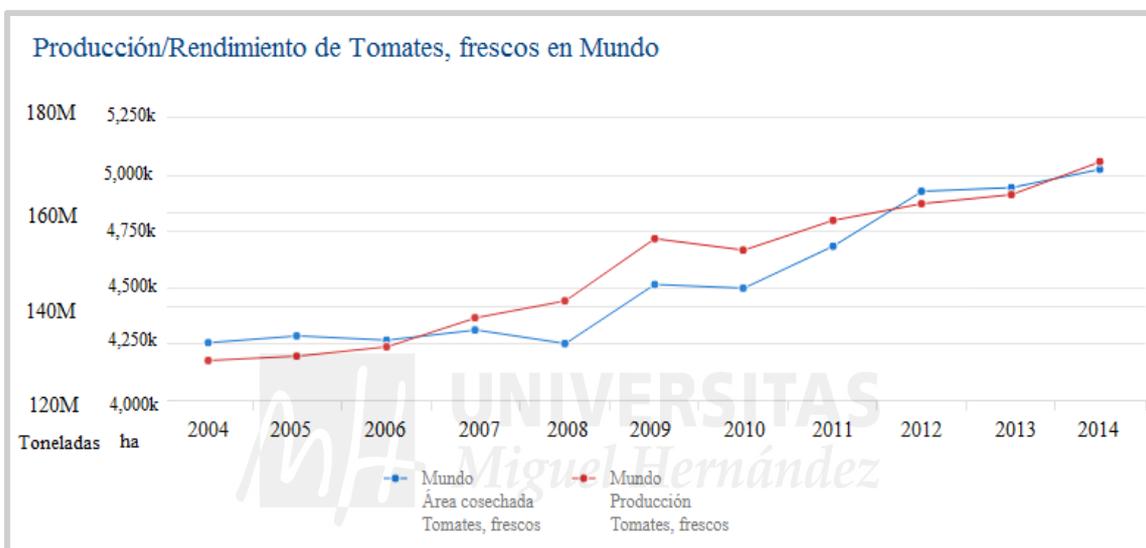


Gráfico 1: Producción mundial de tomate fresco en el periodo 2004-2014. (Fuente: F.A.O. FAOSTAT, 2014, consultado en 2018).

A nivel mundial, en 2014, se producían un total de 164 millones de toneladas, constituyendo China el principal país productor, abarcando una cantidad de 50 millones de toneladas, seguido de la India con un total de 18 millones de toneladas y EE. UU. con 12 millones. España ocupa el noveno puesto entre los 10 principales países productores de tomate.

Aunque la producción ha ido en aumento, la superficie empleada para el cultivo ha disminuido, debido a una mejora en las técnicas de cultivo, con lo que resultará un mayor rendimiento, como podemos observar en el gráfico 1.

La producción media actual en el mundo es de 27 t/ha, pero la mayor producción por área se da en invernaderos europeos, donde la producción puede rebasar los 700 t/ha

en una temporada. Un cultivo de tomates frescos a campo abierto y de alta producción con riego por surco, produce normalmente entre 50 y 70 t/ha.

Tabla 2: Superficie y producción de tomate de los 10 principales países del mundo en el año 2014 (F.A.O. 2019).

Posición	Región	Producción (t)	Área cosechada (ha)
1	China	50.552.200	980.100
2	India	18.227.000	880.000
3	EE. UU.	12.574.550	149.977
4	Turquía	11.820.000	311.000
5	Egipto	8.533.803	212.946
6	Irán	6.174.182	163.595
7	Italia	4.932.463	95.304
8	Brasil	4.187.646	62.687
9	España	3.683.600	45.299
10	México	3.282.583	87.165
	TOTAL MUNDIAL	164.492.970	2.493.810

1.4.2 A nivel nacional.

A pesar de la evolución alcista de la producción mundial, en los últimos años la producción en España se encuentra estancada. El aumento de rendimiento del cultivo es contrarrestado con la reducción de la superficie cultivada, pudiendo resaltar dos factores, la dificultad para abrir nuevos mercados de exportación y el aumento de las importaciones.

Por sus condiciones ambientales no es de extrañar que dentro de la Unión Europea los dos principales productores sean Italia y España, con el 34% y el 26% de la producción comunitaria (FAOSTAT, 2014).

Tiene una gran relevancia, representando el 15% de la superficie y el 30% de la producción hortícola total. Además de la importancia por volumen y superficie, España es el tercer exportador mundial por detrás de México y Holanda.

En la siguiente tabla, se puede observar que la principal Comunidad Autónoma del país productora de tomate es Andalucía, seguida de cerca por Extremadura y en menor medida la Región de Murcia. Además, las mayores superficies de cultivo en invernadero se dan en las provincias de Almería, Granada, Murcia, Málaga, Las Palmas, y Alicante.

Tabla 3: Análisis regional de superficie, rendimiento y producción, 2015. Fuente: Anuario de Estadística MAGRAMA 2016 (consultado en 2019).

Provincias y Comunidades Autónomas	Superficie (hectáreas)			Rendimiento (kg/ha)			Producción (toneladas)	
	Secano	Regadío	Total	Secano	Regadío			
ESPAÑA	297	38.257	19.580	58.134	10.119	77.898	94.461	4.832.700
ANDALUCÍA	35	9.354	14.445	23.834	13.014	66.831	96.591	2.020.845
EXTREMADURA	–	22.453	–	22.453	–	87.023	–	1.953.930
R. DE MURCIA	–	–	2.397	2.397	–	–	79.468	190.484
NAVARRA	–	2.009	47	2.056	–	79.631	70.766	163.305
CANARIAS	–	87	889	976	–	43.318	103.117	95.440
GALICIA	–	221	876	1.097	–	60.186	90.421	92.510
CASTILLA-LA MANCHA	3	1.095	30	1.128	15.000	79.579	160.000	91.985
C. VALENCIANA	38	725	480	1.243	8.211	36.307	104.496	76.793
ARAGÓN	21	662	15	698	16.131	74.613	120.667	51.543
CATALUÑA	50	981	155	1.186	5.118	34.441	103.451	50.077
LA RIOJA	–	152	18	170	–	73.000	105.000	12.986
BALEARES	14	214	57	285	7.200	34.800	55.100	10.689
PAÍS VASCO	80	139	75	294	9.669	20.845	51.806	7.556
CASTILLA Y LEÓN	–	115	34	149	–	36.028	75.000	6.693
MADRID	–	22	34	56	–	50.000	120.000	5.180
P. DE ASTURIAS	40	28	28	96	10.000	25.000	45.000	2.360
CANTABRIA	16	–	–	16	20.250	–	–	324

En la siguiente gráfica, se observa que la producción de tomate en fresco alcanza su punto máximo en el año 2014, tras haber sufrido varias fluctuaciones en los diez años anteriores. En cambio, en el resto del mundo se ha podido comprobar anteriormente el continuo crecimiento de la producción.

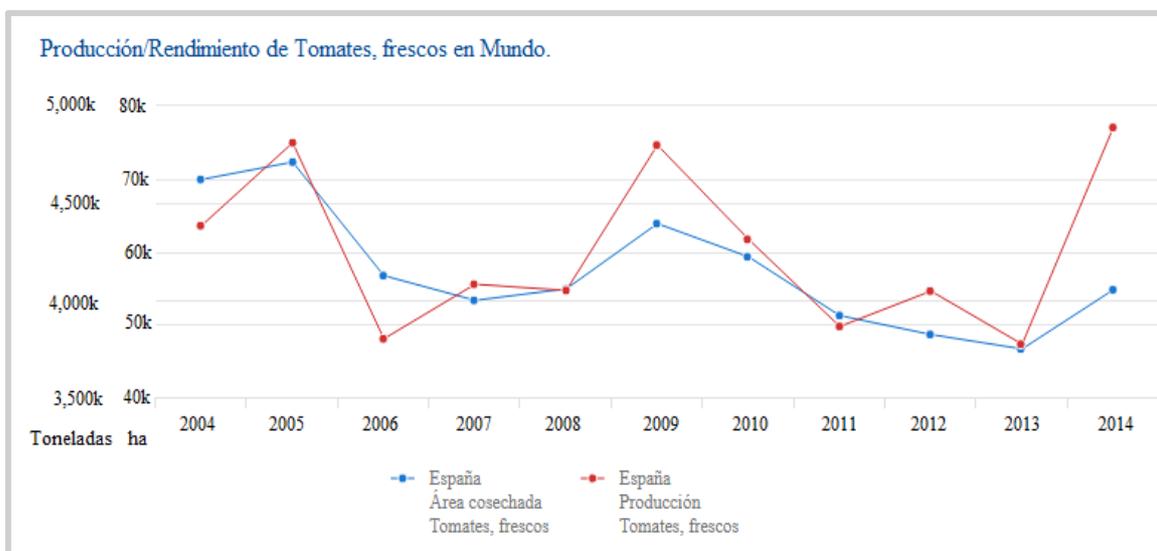


Gráfico 2: Producción de tomate fresco en España en el periodo 2004-2014. (Fuente: F.A.O. FAOSTAT, 2014, consultado en 2019).

1.5 Variedades tradicionales.

Las variedades tradicionales proporcionan un valor añadido adicional, ya que no sólo son producidas localmente, sino que fomentan la biodiversidad y recuperan sabores y tradiciones perdidos ante el auge de los cultivos comerciales. Son el resultado de selección y mejora realizada a lo largo del tiempo por los agricultores para la obtención de semilla para la próxima campaña (García, 1999; Guzmán *et al.*, 2000; Cebolla y Nuez, 2005).

La adaptación a la zona de cultivo, la adecuación a los ámbitos de consumo y otros aspectos relacionados con las características organolépticas, han sido fundamentalmente los criterios de selección, obteniendo así, a través del tiempo grupos varietales especialmente adaptados a cada ambiente y con productos muy apreciados en los mercados a los que se destinaban (García-Martínez, 2006).

Las principales características de estas variedades tradicionales son:

- ❖ La ubicación geográfica determinada que hace referencia a la pertenencia a una zona geográfica delimitada (Almekinders *et al.*, 1994).
- ❖ Heterogeneidad. Una de las características más importantes de las variedades tradicionales, es su considerable variación de fenotipo, si se comparan con las variedades comerciales (Amurrio *et al.*, 1993).
- ❖ Selección local de los agricultores. Estas variedades no son algo estático, sino que presentan una diversidad y un dinamismo que, bajo la presión del hombre y la naturaleza, han evolucionado en el tiempo (Hawtin *et al.*, 1996).

A partir de la segunda mitad de siglo XX, con la llamada Revolución Verde, las variedades tradicionales se fueron sustituyendo paulatinamente debido a la llegada al mercado de las semillas híbridas, conseguidas mediante la selección genética para la obtención de variedades de alto rendimiento, más asociadas estas a la explotación intensiva (Ceccon, 2008).

Los parámetros que han primado la selección de semillas para el cultivo de tomate han sido fundamentalmente los de resistencia, productividad y alargamiento de la vida comercial de los frutos, obteniéndose así variedades comerciales de diseño (Martínez-Carrasco *et al.*, 2012). Estas variedades han desplazado el cultivo de

variedades tradicionales locales al ser menos rentables para los agricultores, poniendo en peligro su conservación y, por ende, la biodiversidad de los ecosistemas agrarios.

La búsqueda de uniformidad en los mercados agrarios, la desaparición de las pequeñas unidades de autoconsumo, la exclusiva comercialización de las casas de semillas y el número reducido de especies que le reportan beneficios, también ha ayudado al desplazamiento de las variedades tradicionales (Nuez y Ruiz, 1999).

Todos estos factores han influido en gran medida en que las variedades tradicionales puedan desaparecer en un futuro próximo, debido a las desventajas que suponen frente a las nuevas variedades tanto para el agricultor como para el consumidor y el mercado.

En el sureste español se encuentran presentes diversas variedades tradicionales de tomate, como el “Muchamiel” de Alicante, el “De la pera” y “Cherry” de la Vega Baja del Segura, el “Tres cantos” de Elche, el “Valenciano”, los “tomates morunos”, o el “Flor de Baladre” de Murcia.

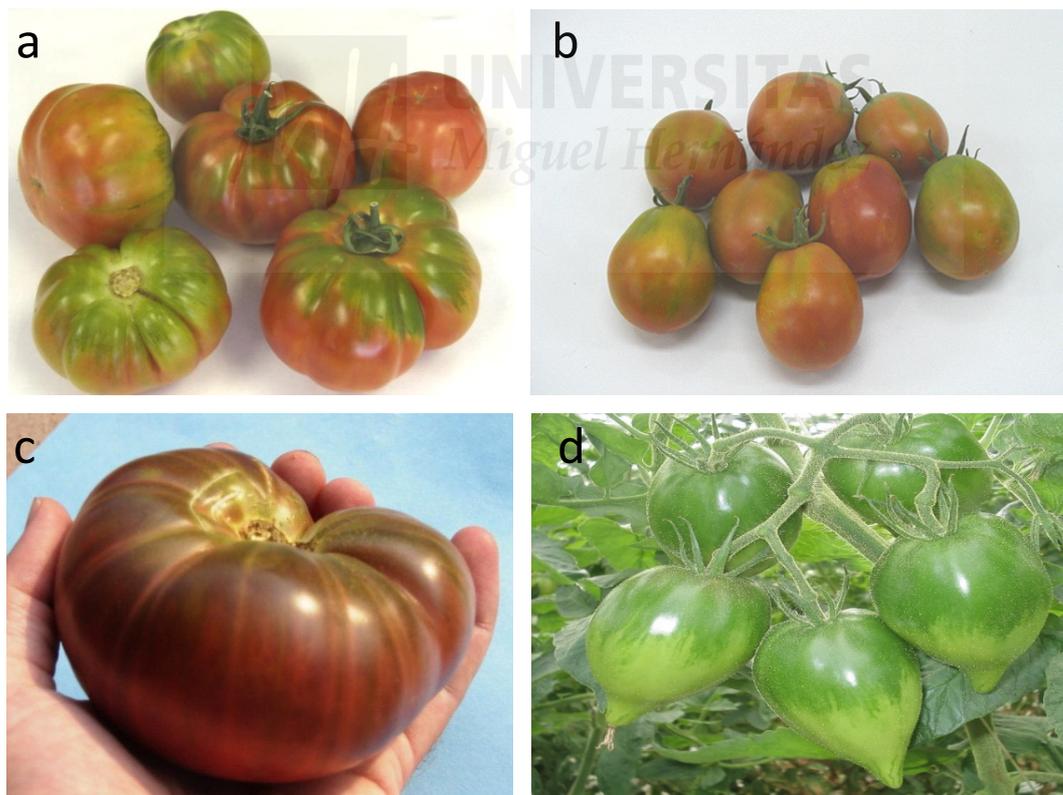


Figura 3. Frutos de las variedades tradicionales Muchamiel (a), De la pera (b), Morunos (c) y valencianos (d).

1.5.1 El tomate Muchamiel.

El tomate Muchamiel es una de las variedades más emblemáticas y reconocidas en la provincia de Alicante de donde es originaria, concretamente de la localidad de Muchamiel, aunque su cultivo se ha ido abandonando por la susceptibilidad a distintos tipos de virus. Se trata de una variedad tradicional local, por tanto, su nombre es conocido en prácticamente toda España. Es muy posiblemente la variedad tradicional de tomate más conocida, muy apreciada por su calidad organoléptica.

No existe un único tipo de tomate Muchamiel, sino que hay ligeras variantes que mantienen cierta diversidad, como consecuencia lógica de haber sido seleccionada por los agricultores durante muchos años. El tipo varietal “Muchamiel” está formado por un conjunto de variedades tradicionales de tomate que tienen el fruto grande, aplastado, más o menos rizado (Figura 4), que se cultivan fundamentalmente en Alicante, Valencia y Murcia.



Figura 4. Frutos del tipo varietal Muchamiel en el estado de maduración óptimo de consumo, con distintas formas y colores: muy fasciada (A), arriñonados (B), redondeados (C), aperados (D) y rosados (E).

Su sabor es suave y su textura muy agradable, algunos catadores expertos describen el tomate Muchamiel como de textura “melosa”. A diferencia de las actuales variedades híbridas de tomate, suele presentar una zona blanca en el centro, o “corazón”, lo cual puede suponer un inconveniente para algunos consumidores.

Su principal uso es el consumo en fresco, y tienen unas excepcionales características organolépticas. Sin embargo, son sensibles a todas las virosis que afectan al tomate, lo que hace prácticamente imposible su cultivo.

1.5.2 El tomate De la pera

El tipo varietal “De la pera” está formado por un grupo de variedades donde la forma aperada de los frutos (Figura 5) y su alta calidad organoléptica es lo que poseen en común.



Figura 5. Frutos del tipo varietal De la pera.

El cultivo del tomate De la pera en la Vega Baja del Segura comenzó a desaparecer a mediados del siglo pasado, debido a introducción de otros cultivos como el algodón, el cáñamo o la alcachofa, y a la introducción de variedades mejoradas de tomate, destinado principalmente a la industria conservera.

En aquellos tiempos, su cultivo estaba destinado principalmente a la industria conservera, aunque una parte se destinaba al consumo en fresco. Actualmente todo el tomate que se produce en la Vega Baja se destina principalmente al consumo en fresco.

El principal problema de esta variedad tradicional, que amenaza gravemente su supervivencia, es que es sensible a todas y cada una de las virosis que afectan al tomate, lo que hace prácticamente imposible su cultivo, favoreciendo un progresivo abandono de su cultivo y sustitución por otras variedades modernas, en su mayoría híbridos F1 (Nuez et al., 1998).

1.6 Programa de mejora genética de la EPSO-UMH.

La mejora genética vegetal se puede definir como ciencia y tecnología destinada a producir nuevos cultivares cambiando su genotipo, y mejorándolo para un determinado medio según las necesidades y aprovechamientos para los que vayan destinados de acuerdo con las necesidades del hombre (Frankel, 1958).

Según Hoyos *et al.*, (2005), los caracteres importantes para la mejora del tomate en fresco se pueden clasificar en:

- ❖ Aumento de la producción.
- ❖ Resistencia a estreses bióticos: plagas y enfermedades.
- ❖ Tolerancia a estreses abióticos: condiciones ambientales adversas.
- ❖ Arquitectura de la planta adecuada al tipo de cultivo, recolección, etc.
- ❖ Calidad del fruto: externa (forma, tamaño, color, ausencia de fisiopatías) e interna (dureza, sabor, aroma, compuestos saludables).

La mejora genética de variedades es esencialmente una selección de plantas escogidas dentro de una población en la cual existe variabilidad, es decir, la mejora sólo es posible debido a la existencia de variabilidad.

La baja variabilidad genética del tomate es un serio problema para su mejora genética que se puede solucionar con el uso de especies silvestres incluyendo los ancestros de los cultivos y aquellas más alejadas filogenéticamente. Estas proveen a los mejoradores de plantas de una amplia reserva de genes potencialmente útiles. El valor agronómico prácticamente nulo de estas especies ha propiciado el aprovechamiento de genes mayores capaces de manifestar su efecto de forma clara y completa, eliminando el fondo genético no deseable por métodos de retrocruzamiento.

Históricamente los genes más utilizados han sido los de resistencia a enfermedades, sobre todo los dominantes. Según Hajjar y Hodgkin (2007) hasta el 80%

de las especies silvestres utilizadas en mejora, son utilizadas por sus resistencias a plagas y enfermedades.

En 1998 empezó en la Escuela Politécnica Superior de Orihuela de la Universidad Miguel Hernández un programa de mejora para la introducción de genes de resistencia a las tres virosis más importantes que afectan al cultivo del tomate en el sureste español: ToMV, TSWV y TYLCV. El método elegido fue una introgresión asistida por marcadores moleculares. Las etapas que comprende este programa de mejora son las siguientes:

- ❖ Caracterización agronómica de las variedades tradicionales y de la fuente de resistencia.
- ❖ Realización de cruzamientos.
- ❖ Realización de retrocruzamientos.
- ❖ Fijación de los genes de resistencia.
- ❖ Selección de las mejores líneas.
- ❖ Inscripción en el registro de variedades.

Se han empleado marcadores moleculares para la selección precoz de individuos portadores de todos los genes de interés. En las distintas generaciones de retro cruzamientos se han empleado de forma complementaria la selección genotípica, mediante marcadores, y la selección fenotípica. Esta selección fenotípica se realiza para obtener, entre las plantas portadoras de los genes de interés (según los marcadores empleados) aquellas que no manifiesten síntomas de la virosis y que tengan mejores características de cuajado, tamaño de fruto, uniformidad, producción, etc. Ambas técnicas no son excluyentes, habiéndose confirmado que el resultado óptimo se obtiene empleando una combinación de las dos técnicas (García-García P., 2004).

El Registro de Variedades Protegidas se creó para proteger los derechos del obtentor. En el pasado, las variedades vegetales se obtenían por los propios agricultores y se transmitían de generación en generación, sin ningún problema. Pero ya en nuestros tiempos la obtención de nuevas variedades fue obra de técnicos especializados, normalmente trabajando para empresas de producción de semillas. El hecho de que un competidor desleal se apropiara de las líneas de otro obtentor ha sido una realidad, lo

que propició el desarrollo de una legislación sobre esta materia, elaborada en los países desarrollados durante la segunda mitad del siglo XX (Cubero, 2003). En 2011 se iniciaron los trámites para la inscripción en los Registros de Variedades Comerciales y Protegidas de las primeras obtenciones del Programa de Mejora.

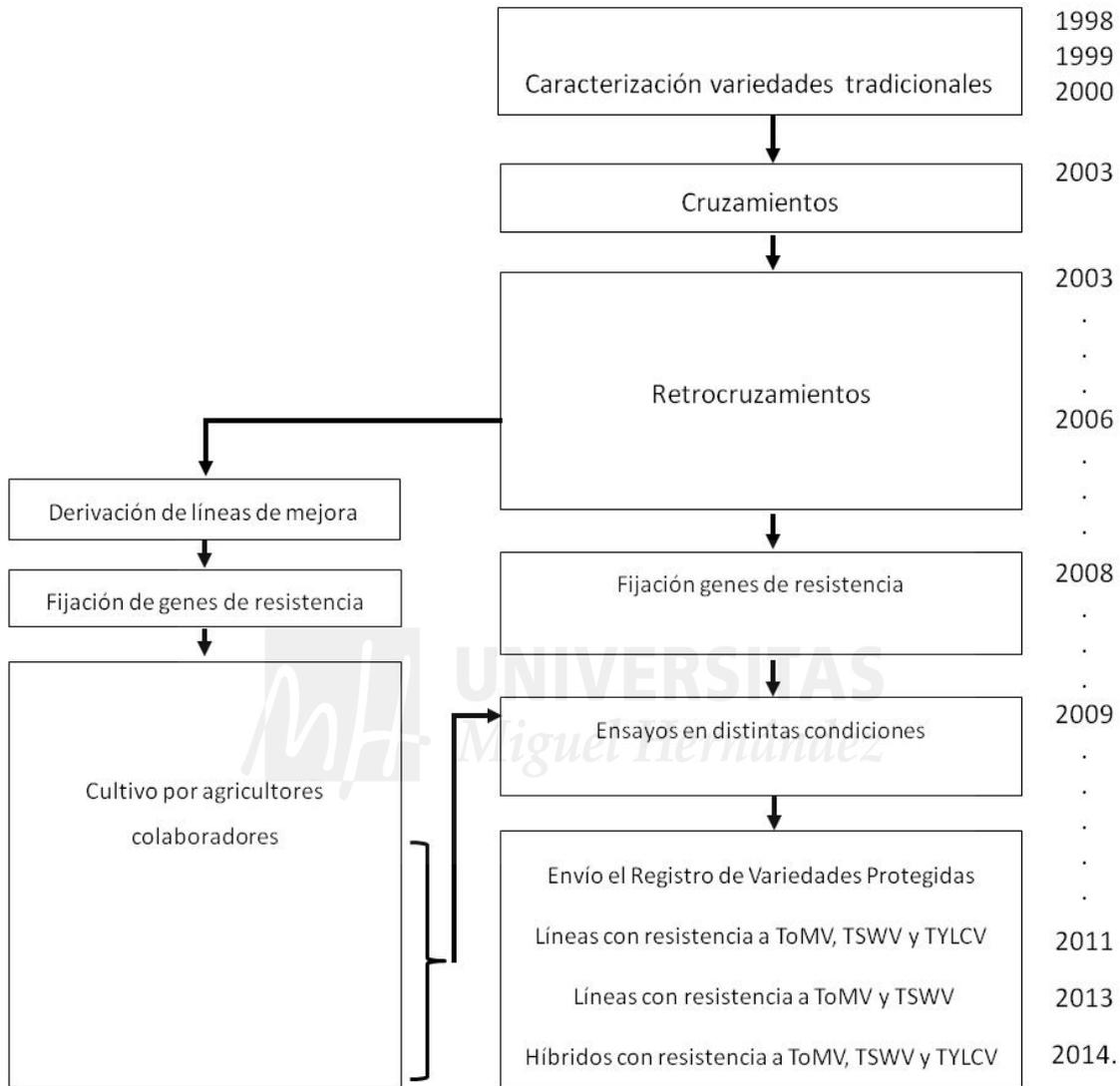


Figura 6: Esquema con las etapas del programa de mejora.

En 2013 se concedieron los primeros Títulos de Obtención Vegetal (TOV) de líneas procedentes del programa de mejora de la EPSO-UMH, las líneas UMH 1200 (tipo Muchamiel) y UMH 1203 (tipo De la pera), ambas con resistencia en homocigosis a los 3 virus (Tabla 4). También se han obtenido líneas de mejora sólo con resistencia a ToMV y TSWV (y por lo tanto sin resistencia a TYLCV), así como con resistencia sólo a ToMV, cuyos TOV fueron concedidos en 2017. También se han

desarrollado híbridos, con resistencia a los tres virus en heterocigosis.

Tabla 4: Líneas de mejora inscritas en el Registro de Variedades Protegidas, con su genotipo para los tres genes de resistencia a virus.

Tipo varietal	Línea	Resistencias	Envío	Obtención Título
		ToMV-TYLCV-TSWV		
Muchamiel	UMH 1200	RR-RR-RR	2011	2013
Muchamiel	UMH 1139	RR-ss-RR	2013	2017
Muchamiel	UMH 1101xIF	Rs-Rs-Rs	2014	2017
De la pera	UMH 1203	RR-RR-RR	2011	2013
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
De la pera moreno	UMH 1209	RR-RR-RR	2015	2018
De la pera moreno	UMH 1155	RR-ss-RR	2015	2018
Cherry	UMH 1400	RR-RR-RR	2015	2018
Cherry	UMH 1401	RR-ss-RR	2015	2018
Cherry	UMH 1402	RR-ss-RR	2015	2018
Híbrido	UMH 1200xBfT	Rs-Rs-Rs	2018	-
Híbrido	UMH 1200xCostoluto	Rs-Rs-Rs	2018	-

1.7 Línea en la que se engloba este trabajo.

Este trabajo fin de carrera forma parte del programa de mejora genética de tomate de la EPSO-UMH. Una de las tareas más importantes en un programa de mejora genética es la selección de las plantas con mejores características. Para ello antes hay que caracterizarlas o fenotiparlas. Se recomienda utilizar descriptores elaborados por el IPGRI (actualmente Bioversity International), por comisiones de expertos en cada cultivo, para que todo el mundo pueda aprovechar la información. Estos descriptores tienen 3 tipos de información: datos pasaporte (para identificar la muestra (origen, suelo, clima, etc.), datos de caracterización (son caracteres identificativos, tanto

cualitativos como cuantitativos, con una heredabilidad alta, como el tipo de hoja, de fruto, estructura de la planta, etc.) y datos de evaluación (caracteres con interés agronómico, resistencia a plagas y enfermedades, aptitud para diferentes usos, etc.).

En la web de Bioversity International (<https://www.bioversityinternational.org/>) se encuentran descriptores para los principales cultivos, en varios idiomas, con acceso libre (Figura 7).

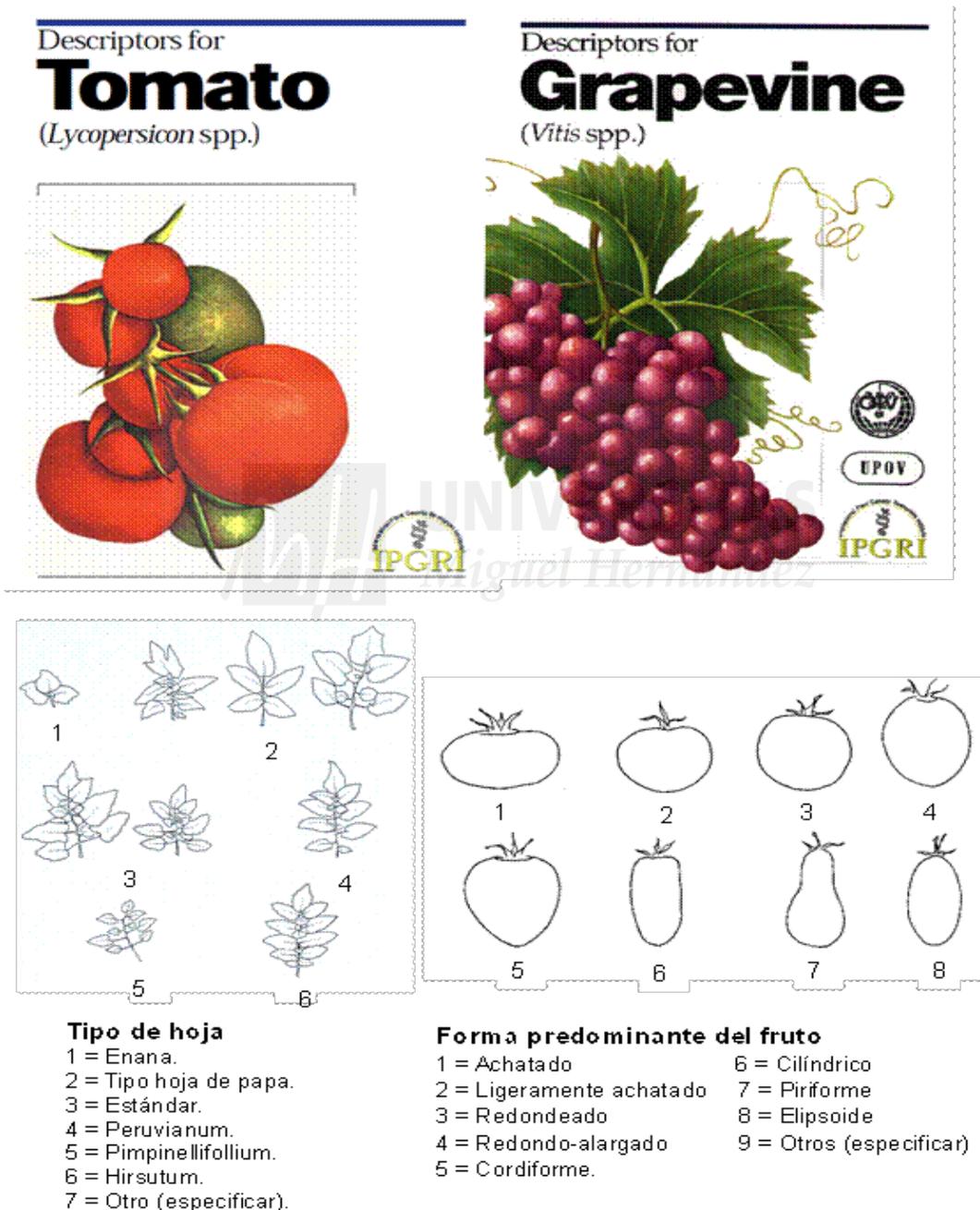


Figura 7. Portadas de los descriptores para tomate y vid (imágenes superiores y descriptores para la forma de la hoja y del fruto de tomate (imágenes inferiores).

Las características morfológicas se suelen evaluar con descriptores. Esta técnica tiene sus limitaciones entre ellas que hay cierta subjetividad de la persona que evalúa.

Para reducir esta subjetividad se están utilizando programas informáticos que definen unos parámetros y analizan las imágenes de las partes deseadas (frutos, hojas, raíces, etc...). Uno de los primeros programas libres es el Tomato Analyzer, desarrollado por el equipo de la Dra. Esther van der Knaap de la Universidad de Ohio (USA).



2. OBJETIVOS

El objetivo de este trabajo es realizar la puesta a punto del programa informático Tomato Analyzer para evaluar características de interés relacionadas con la forma de los frutos.

Para ellos se estudiarán líneas de mejora de tomate Muchamiel y De la pera, con resistencias a virus, obtenidas en el Programa de Mejora de la EPSO-UMH.

La utilización de esta herramienta debe permitir hacer un fenotipado más objetivo, lo que permitirá realizar una selección mas eficaz.



3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Material vegetal utilizado.

Se han estudiado 53 híbridos obtenidos entre las líneas de mejora Muchamiel UMH1200 y De la pera UMH1203 (también incluidas) y variedades tradicionales de diverso origen. Estos híbridos tienen resistencia en heterocigosis a ToMV, TYLCV y TSWV, conferida por los genes *Tm-2^a*, *Ty-1* y *Sw-5*, y se han obtenido en el proyecto TRADITOM. El material vegetal estudiado aparece en tabla 1, organizado por tipo.

Tabla 5: Híbridos estudiados en este trabajo

Tipo	Híbrido/línea
Línea mejora	UMH 1203
Híbridos De la pera	UMH 1203 x Valen VA2520
	UMH 1203 x Valen VA2650
	UMH 1203 x Rosa CA1500
	UMH 1203 x Processing BA1770
	UMH 1203 x Conserva VA0390
	UMH 1203 x Gran Sazo TH0470
	UMH 1203 x DaSerbo PA0270
	UMH 1203 x DaSerbo PA0310
	UMH 1203 x DaSerbo VI004
	UMH 1203 x Tres Cantos CA1080
	UMH 1203 x De la Pera CA1400
	UMH 1203 x Pera de Girona CA0690
	UMH 1203 x Pera di Abruzzo VI005
	UMH 1203 x 7
	UMH 1203 x 19
UMH 1203 x 21	

Tabla 6: Híbridos estudiados en este trabajo (continuación)

Tipo	Híbrido/línea
Línea mejora	UMH 1200
Híbridos Muchamiel	UMH 1200 x Plana VA3010
	UMH 1200 x MorunoAvella VA2500
	UMH 1200 x Beef RosaVA2490
	UMH 1200 x Cuor Bue VI0580
	UMH 1200 x Costo Fior VI0630
	UMH 1200 x Costo Geno VI1600
	UMH 1200 x Scato Borsena VI0870
	UMH 1200 x Karambola TH1070
	UMH 1200 x StrongiliMegali TH2490
	UMH 1200 x Gosse Rose MO0310
	UMH 1200 x MarmanAncie MO0510
	UMH 1200 x Areti TH001
	UMH 1200 x Makedonia TH002
	UMH 1200 x Santorini TH003
	UMH 1200 x Marmande MO001
	UMH 1200 x Saint Pierre MO002
	UMH 1200 x Outre
	UMH 1200 x 9466 JJ IS003
	UMH 1200 x 4
	UMH 1200 x 18
	UMH 1200 x P98-62
	UMH 1200 x C.G.
	UMH 1200 x RAF EELM
	UMH 1200 X B.f.T.
	UMH 1094 x B.f.T.
	UMH 1101 x I.F.
	UMH 1200 x Montse CA0810
	UMH 1200 x Montse CA002
	UMH 1200 x Cor Bou CA1210
	UMH 1200 x Cor Bou BA1930
	UMH 1200 x Gordo Morado VA0150
	UMH 1200 x Negro de Siles VA0330
	UMH 1200 x Gordo Rosa VA1100
UMH 1200 x Valen VA002	
UMH 1200 x Valen VA1950	
UMH 1200 x Muchamiel VA001	
UMH 1200 x Plana VA2990	

3.2 Condiciones de cultivo.

Las plantas se cultivaron en un invernadero de malla de la empresa Agrícola Rabal S.L., situado en Ramonete (Lorca, Murcia). Las plantas se cultivaron en el suelo, con riego localizado por goteo, sin injertar, dejando 2 tallos por planta, con una densidad de 0,9 plantas/m². Los cuidados fueron los mismos que en el resto de superficie del invernadero, que se pueden considerar los habituales de la zona.

3.3 Planificación de los ensayos.

En la tabla 8 aparecen las fechas en las que se realizaron las tareas más importantes del cultivo, así como las 6 recolecciones que se llevaron a cabo en las distintas instalaciones. El semillero se realizó el 23-05-2017, el trasplante el 29-06-2017. Se realizaba la recolección de los frutos semanalmente, cuando los frutos tenían al menos la mitad de la superficie de color rojo, estado en el que se pueden consumir sin ningún problema.

Tabla 7: Fechas en las que se realizaron las distintas labores del ensayo.

Tarea	Fecha	
Siembra	23/05/2017	
Trasplante	29/06/2017	
Principio de recolección	11/09/2017	
Final de recolección	07/02/2018	
1ª Muestreo	Recolección	13/09/2017 (PERA) 18/09/2017 (MUCHAMIEL)
	Escaneado	14/09/2017 – 28/09/2017
2ª Muestreo	Recolección	10/10/2017 (PERA) 17/10/2017 (MUCHAMIEL)
	Escaneado	10/10/2017 – 25/10/2017
3ª Muestreo	Recolección	08/11/2017
	Escaneado	16/11/2017 – 07/12/2017
Análisis de imágenes	01/06/2018 – 26/06/2018	

3.4 Diseño experimental.

Se escanearon los frutos de 3 recolecciones, espaciadas 15-20 días. Cada muestra estaba formada entre 3-15 frutos (en función del tamaño de cada híbrido), que habían alcanzado el tamaño definitivo, pudiendo variar el estado de maduración.

3.4.1 Cortes longitudinales y ecuatoriales

En cada muestreo, se escanearon cortes longitudinales y ecuatoriales de los frutos. En los híbridos pera, al tener un tamaño menor, se tomaron mas imágenes.

El numero de cortes vario en función de la disponibilidad de cada híbrido en los 3 muestreos. El rango de valores aparece en la siguiente tabla.

Tabla 8: Número de muestreos tanto longitudinal como ecuatorial para cada variedad.

	LONGITUDINAL			ECUATORIAL		
	MUESTREO	MUESTREO	MUESTREO	MUESTREO	MUESTREO	MUESTREO
	1	2	3	1	2	3
PERA	3-5	3-10	3-12	3-5	3-7	3-6
MUCHAMIEL	3-4	3-8	3-7	3-4	3-4	3-5

3.5 Programa utilizado

Tomato Analyzer es un programa que proporciona descripciones intuitivas y resultados que facilitan el análisis de la morfología de la fruta. Tomato Analyzer permite realizar mediciones precisas y objetivas de los atributos de la forma de la fruta de una manera de alto rendimiento y de rasgos que son casi imposibles de cuantificar manualmente. La aplicación está desarrollada específicamente para analizar la forma de la fruta QTL en el tomate, pero podría aplicarse fácilmente a frutas de otras especies y otros órganos de plantas como semillas y hojas.

Este proyecto ha sido financiado por el Programa de Investigación del Genoma de Plantas de la Fundación Nacional para la Ciencia IOS 1444539/1564366; IOS 0922661; DBI 0227541 por Esther van der Knaap, Simon Gray, Kikuo Fujimura y Sofia Visa.



Figura 8. Foto de pantalla del programa Tomato Analyzer, analizando los diferentes parámetros.

3.6 Caracteres analizados en el ensayo.

3.6.1 Caracteres utilizados

Dentro del total de caracteres que ofrece el programa “Tomato Analyzer”, hemos seleccionado aquellos que nos ofrecen las características morfológicas que deseamos comparar y demostrar con ello la utilidad del programa.

Fruit Shape: Mide la relación entre altura y anchura del fruto. Hemos utilizado:

- **“Fruit Shape Index External I” (FSI I) o índice de forma externa del fruto 1:** la relación entre la altura (H) y la anchura máxima (W).
- **Fruit Shape Index External II (FSI II) o índice de forma externa del fruto 2:** La relación de altura de ancho medio a ancho de altura media.
- **Curved Fruit Shape Index o índice de forma curvada del fruto (CFSI):** La relación entre la altura curva (CH) y el ancho de la fruta a la altura media curva (CW), medida perpendicular a la línea de altura curva.
- **Fruit Shape Triangle (FST) o forma triangular del fruto:** La relación del ancho en la posición de bloqueo superior al ancho en la posición de bloqueo inferior.

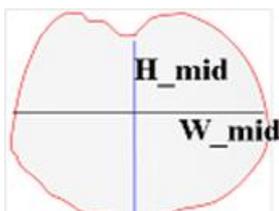


Figura 9. Relacion entre la altura de ancho medio y anchura y el ancho de altura media.

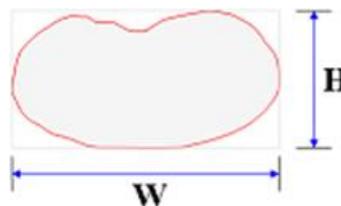


Figura 10. La relación entre la altura (H) y la anchura máxima (W).

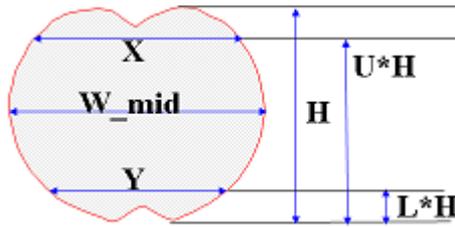


Figura 11. La relación del ancho en la posición de bloqueo superior al ancho en la posición de bloqueo inferior.

Blockiness: Mide a relación de anchura del fruto respecto a su tamaño total.

Se ha utilizado:

- **Proximal Fruit Blockiness (PFB) o bloqueo proximal del fruto:** La relación del ancho en la Posición de Bloqueo Superior al Ancho a Media Altura.
- **Distal Fruit Blockiness (DFB) o bloqueo distal del fruto:** La relación del ancho en la Posición de Bloqueo Inferior al Ancho de la Altura media.



Homogeneity u homogeneidad

- **Elipsoide (Ellip):** la proporción del error resultante de una elipse de mejor ajuste al área de la fruta. El error es la magnitud promedio de los residuos a lo largo del perímetro de la fruta, dividida por la longitud del eje mayor (más largo) de la elipse. Los valores más pequeños indican que la fruta es más elipsoide.
- **Circular (Circ):** la proporción del error resultante de un círculo de mejor ajuste al área de la fruta. El error es la magnitud promedio de los residuos a lo largo del perímetro de la fruta, dividida por el radio del círculo. Los valores más pequeños indican que la fruta es más circular.
- **Rectangular (Rect):** la proporción del área del rectángulo que limita la fruta con el área del rectángulo delimitada por la fruta.

Proximal Fruit End Shape o forma del extremo proximal del fruto:

Mide el ángulo entre las líneas de mejor ajuste a través del perímetro de la fruta a cada lado del punto final próximo en la parte superior del fruto.

- **Proximal Angle Micro (Pam) o ángulo proximal micro:** Los puntos comprendidos en 1% del perímetro.
- **Proximal Angle Macro (PAM) o ángulo proximal macro:** Los puntos comprendidos en 5% del perímetro.
- **Proximal Indentation Area (PIA) o Área de sangría proximal ($K/S * 10$):** relación entre el área de la sangría proximal (delimitada por los puntos proximales del hombro, P_{sl} y P_{sr}) con el área total de la fruta, multiplicada por 10.

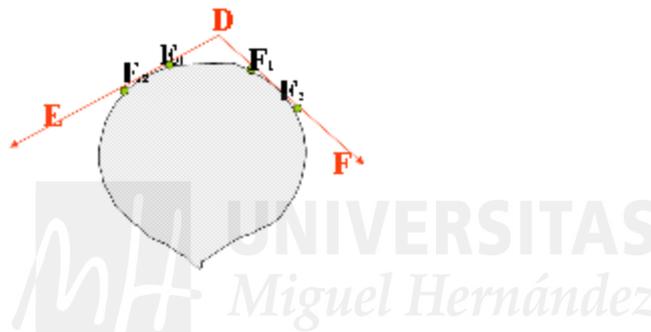


Figura 12. Puntos correspondidos respecto al perímetro en la parte superior.

Distal Fruit End Shape o forma del extremo distal del fruto: Mide el ángulo entre las líneas de mejor ajuste a través del perímetro de la fruta a cada lado del punto final próximo en la parte inferior del fruto. Se han utilizado:

- **Distal Angle Micro (Dam) o ángulo distal micro:** Los puntos comprendidos en 1% del perímetro.
- **Distal Angle Macro (DAM) o ángulo distal macro:** Los puntos comprendidos en 5% del perímetro.

- **Distal Indentation Area (DIA) o Área de sangría distal ($K_i / S * 100$):** la relación del área de la sangría distal (limitada por los puntos de protrusión distal) al área total de la fruta, multiplicada por 10.
- **Distal End Protrusion (DEP) o Protrusión del extremo distal ($K_p / S * 100$):** la proporción del área de la protrusión distal (limitada por los puntos de protrusión distal) al área total de la fruta, multiplicada por 10.

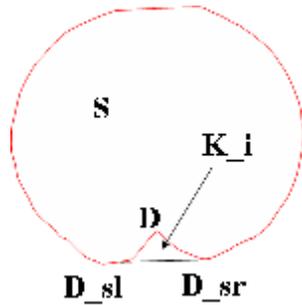


Figura 13. Relación del área de la sangría distal

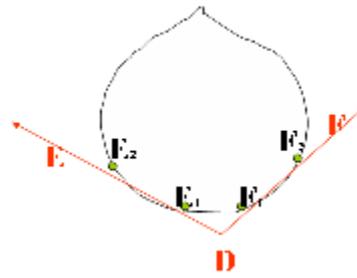


Figura 14. Puntos correspondidos respecto al perímetro en la parte inferior.

- **Shoulder Height (SH) o altura del hombro:** La relación entre la altura promedio de los puntos de los hombros por encima del punto final proximal (P) y la Altura máxima (H).

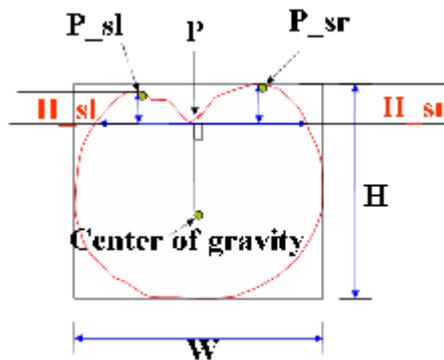


Figura 15. Relación entre altura y hombros.

Asymmetry o asimetría

- **Obovoid (Ob) u Obovada:** si el área de la fruta es mayor por debajo de la altura media que por encima de ella, entonces la forma Obovada se calcula a partir del ancho máximo (W), la altura a la que se produce el ancho máximo (y), el ancho promedio por encima de esa altura (w1), y el ancho promedio por debajo de esa altura (w2).

$$\text{Forma Obovada} = 1/2 * \text{scale_ob}(y) * (1 - w1/W + w2/W)$$

Si la forma Obovada > 0, resta 0.4., de otra manera la forma obovada es 0.

- **Ovoid (Ov) u Ovoide:** si el área de la fruta es mayor por encima de la altura media que por debajo, entonces Ovoide se calcula a partir del ancho máximo (W), la altura a la que se produce el ancho máximo (y), el ancho promedio por encima de esa altura (w1), y el ancho promedio por debajo de esa altura (w2), y una función de escala scale_ov como:

$$\text{Ovoide} = 1/2 * \text{scale_ov}(y) * (1 - w2 / W + w1 / W)$$

Si Ovoide > 0, reste 0.4. De lo contrario, Ovoide es 0.

- **V.asymmetry (V.A) o Asimetría vertical:** la distancia promedio (Res_w) entre una línea vertical a través de la fruta en el ancho y el punto medios del ancho de la fruta en cada altura.
- **H. Asymmetry Ob (H. A ob) o Asimetria Horizontal:** si el área de la fruta es mayor por debajo de la altura media que por encima de ella, H. Asymmetry.Ob es la distancia promedio (Res_h) entre una línea horizontal a través de la fruta a la altura y el punto medios de La altura de la fruta en cada ancho. De lo contrario, es 0.
- **H. Asymmetry.Ov (H. A ov) o Asimetria Horizontal:** si el área de la fruta es mayor por encima de la altura media que por debajo, H.Asymmetry.Ov es la distancia promedio (Res_h) entre una línea horizontal a través de la fruta a la altura media y el punto medio de La altura de la fruta en cada ancho. De lo contrario, es 0.
- **Width Widest Pos (WWP) o ancho de la posición mas ancha:** La relación de la altura a la que se produce el ancho máximo, a la altura máxima.

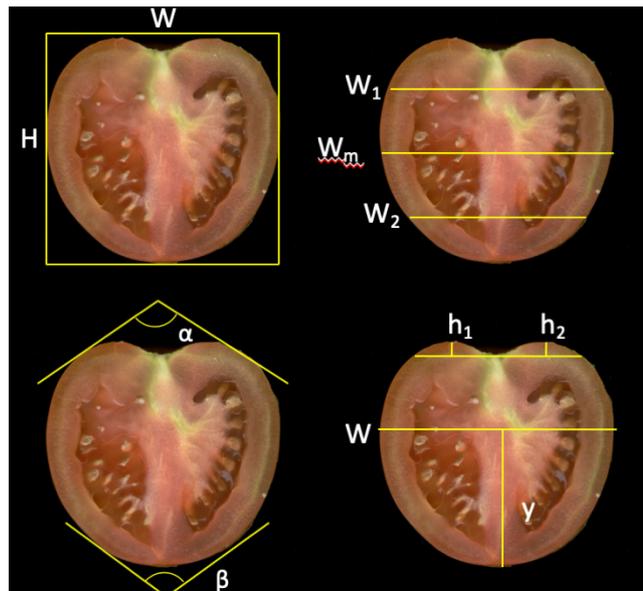


Figura 16. Ejemplos de mediciones con el programa “Tomato Analyzer”.

Tras el análisis realizado por el programa Tomato Analyzer se debe comprobar visualmente, fruto por fruto, los márgenes que el programa ha asignado a cada uno, ya que a veces el programa comete errores. Tras corregir los errores, manualmente, se vuelve a analizar de nuevo.



3.7 FENOTIPADO VISUAL

Se ha realizado el fenotipado visual de los frutos, utilizando los cortes longitudinales.

Para los frutos De la pera se evaluaron:

- Forma típica De la pera (**Forma**), utilizando la escala 1-2-3, donde 3 corresponde a la forma aperada más típica. (Figura 17).
- Extremo apical del fruto puntiagudo (**Punta**), utilizando la escala 1-2-3, donde 1 corresponde a un fruto sin punta y 3 a un fruto con mucha punta. (Figura 17).

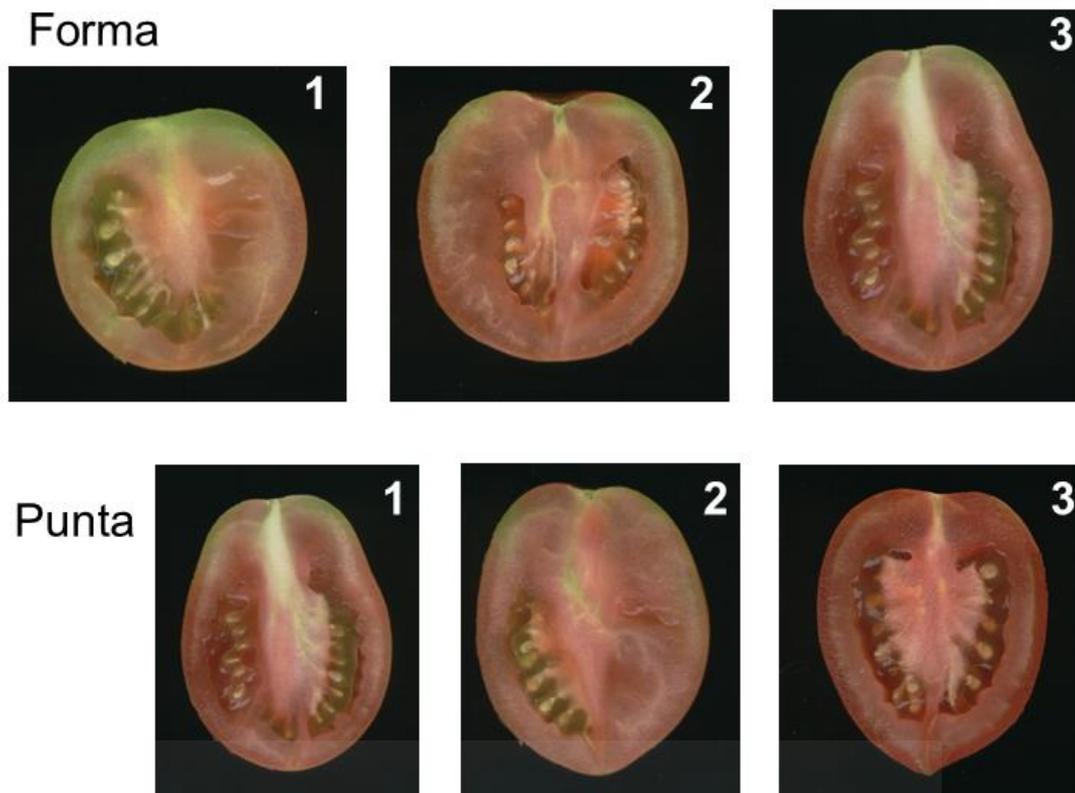


Figura 17: Imágenes de frutos De la pera con distintos valores de las escalas utilizadas para la **forma** (arriba) y la **punta** (abajo).

Para los frutos Muchamiel se evaluaron:

- Forma típica Muchamiel (**Forma**), utilizando la escala 1-2-3, donde 3 corresponde a la forma más típica (Figura 18). Al incluir híbridos con las variedades Costoluto Genovese y Fiorentino se añadió el valor de 4 a la escala.
- Altura de los hombros o de la inserción pedicular (**Hombro**), utilizando la escala 1-2-3, donde 1 corresponde a la inserción pedicular ligera, 2 a media y 3 a profunda (Figura 18).



Figura 18: Imágenes de frutos Muchamiel con distintos valores de las escalas utilizadas para la **forma** (arriba) y el **hombro** (abajo).

3.8 Tratamiento estadístico.

Se han calculado las correlaciones de Pearson entre los distintos parámetros obtenidos con el programa Tomato Analyzer, utilizando el paquete 'stats' (Team R Core, 2017) v 3.4.2 en R. También se han incluido los parámetros estimados visualmente: en el tipo De la pera la forma típica y el extremo apical puntiagudo y en el tipo Muchamiel la forma típica y la altura del hombro.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tras el análisis con Tomato Analyzer de las imágenes de los frutos de las 3 recolecciones, se comprobó que los valores de las 3 recolecciones eran similares. Como la segunda recolección fue la más abundante, y por lo tanto tenía un mayor número de frutos de cada híbrido analizados, se decidió seguir solamente con esos datos.

4.1 Parámetros desechados

Tras el análisis de los datos obtenidos, se desearon los parámetros “Distal Indentation Area”, “Distal End Protrusion”, “Obovoid” y “H. Asymmetry.ob”, ya que tenían demasiados valores igual a 0. Con los demás parámetros se prosiguió el análisis.

Tabla 9: Parámetros utilizados y desechados en el programa Tomato Analyzer.

Parámetro	Abreviatura	Parámetro	Abreviatura
Fruit Shape Index External I	FSI I	Distal Angle Micro	Dam
Fruit Shape Index External II	FSI II	Distal Angle Macro	DAM
Curved Fruit Shape Index	CFSI	Distal Indentation Area	DIA
Proximal Fruit Blockiness	PFB	Distal End Protrusion	DEP
Distal Fruit Blockiness	DFB	Obovoid	Ob
Fruit Shape Triangle	FST	Ovoid	Ov
Ellipsoid	Ellip	V. Asymmetry	V.A
Circular	Circ	H. Asymmetry.ob	H.A ob
Rectangular	Rect	H. Asymmetry.ov	H.A ov
Shoulder Height	SH	Width Widest Pos	WWP
Proximal Angle Micro	Pam		
Proximal Angle Macro	PAM		
Proximal Indentation Area	PIA		

4.2 Híbridos De la pera.

En el Gráfico 3 aparecen las correlaciones entre todos los parámetros analizados con el programa informático Tomato Analyzer, así como los parámetros evaluados visualmente.

En tonos rojos aparecen las correlaciones más significativas en positivo y en tonos azules las negativas, mientras en blanco apenas hay correlaciones y tienen demasiados valores 0.

Podemos apreciar en híbridos De la pera que los parámetros estimados visualmente (Forma y punta) no están correlacionados.

Los parámetros que forman el bloque forma fruto (FSI I, FSI II, CFSI) están muy correlacionados entre si positivamente, con valores cercanos a 1. También están muy relacionados positivamente con el parámetro Circ y WWP. Esto se debe a que son parámetros muy similares. Están muy correlacionados entre si negativamente con los parámetros PFB, FST, SH, PAm, PAM, PIA, DAm y Ov. El parámetro FST esta correlacionado positivamente con todos los parámetros excepto con Circ, V.A, DAm y DAM. A la misma vez el parámetro FST está correlacionado negativamente con los parámetros WWP, DAm y DAM.

Los parámetros que forman el bloque Blockiness (PFB, DFB) estan muy correlacionados entre ellos de forma negativa. El parámetro PFB esta correlacionado con todos los parámetros excepto con V.A, DAM, DAm, que miden la asimetría vertical, y los ángulos distales macro y micrio. El parámetro DFB esta correlacionado con todos los parámetros excepto con CIRC y PIA que miden la forma circular del fruto y el ratio del área proximal.

Los parámetros que forman el bloque Homogeneidad (Ellip, Circ, Rect) estan muy correlacionados entre ellos de forma positiva. El parámetro Ellip esta correlacionado con todos los parámetros positiva y negativamente excepto con V.A que mide la asimetría vertical. El parámetro Circ, esta correlacionado con todos los parámetros excepto con Rect, PIA, V.A y H_A_Ov, DFB que mide la forma rectangular, el ratio del área proximal, la asimetría vertical, la asimetría horizontal y el bloque distal del fruto.

Los parámetros que forman el bloque Forma proximal (PAm, PAM, PIA) están muy correlacionados entre ellos de forma positiva. También están muy relacionados positivamente con Ov, H_A_Ov y FST que miden la forma Ovoide, la asimetría horizontal y la forma triangular. A su misma vez están relacionados negativamente con FSI I, FSI II y CFSI que son parámetros de anchura, altura y curvatura del fruto. También con el parámetro WWP, que mide el ancho de la posición mas ancha.

Los parámetros que forman el bloque Forma Distal (Dam, DAM) están muy correlacionados entre ellos de forma positiva. También están muy relacionados negativamente con H_A_Ov, FSI I, FSI II, CFSI, Ellip, Circ que mide la asimetría horizontal, altura y anchura del fruto, forma curvada, elipsoide y circular del fruto.

En los parámetros que forman el bloque asimetría (Ov, V.A, H_A_Ov y WWP), podemos observar que el parámetro Ov y H_A_Ov están correlacionados de forma negativa con WWP. Y el Parámetro Ov esta correlacionado de forma positiva con H_A_Ov. En el parámetro V.A no se observan correlaciones con el resto de los parámetros de asimetría.



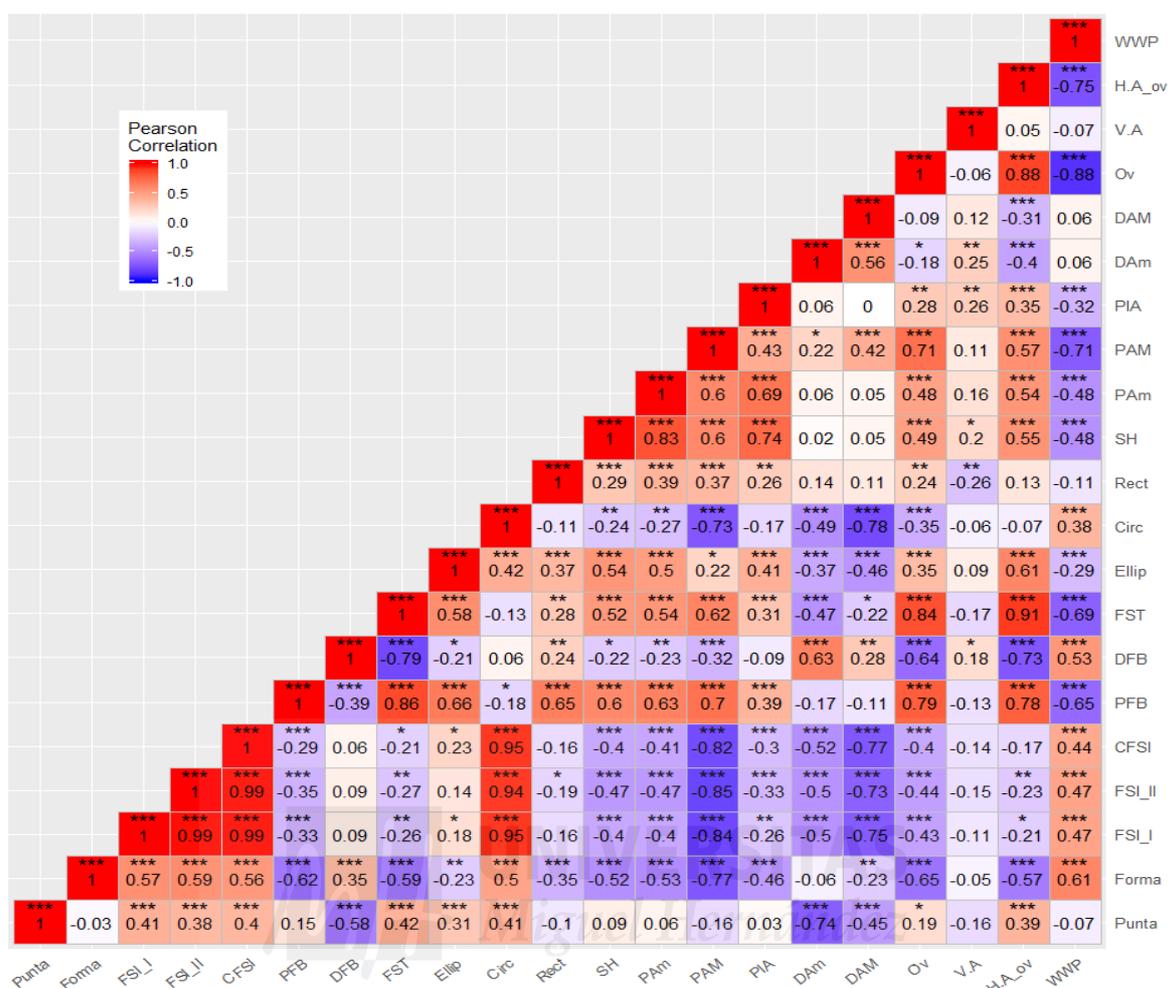


Gráfico 3: Correlaciones de los parámetros analizados, tanto con Tomato Analyzer como visualmente, en los híbridos De la pera. El nivel de significación de las correlaciones se representa con los asteriscos: * (p-valor<0.05), ** (p-valor<0.01) y *** (p-valor<0.001).

Por lo que se refiere a los parámetros estimados visualmente, en los híbridos De la pera se han encontrado correlaciones positivas significativas de la **forma típica De la pera** con los parámetros de anchura y altura (FSI I, FSI II, WWP), al igual que con la forma curvada (CFSI) y circular del fruto (Circ). Los mayores valores de correlación se alcanzan con los parámetros FSI I y WWP, con 0,59 y 0,61, respectivamente. Así mismo, se han encontrado correlaciones significativas negativas de la **forma típica De la pera** con los parámetros forma ovoide (Ov), forma triangular del fruto (FST), puntos comprendidos en 1 % del perímetro (Pam), puntos comprendidos en 5% del perímetro (PAM), asimetría horizontal (H.A.ov), altura de hombros (SH) y relación del ancho en la posición de bloqueo superior al ancho a media altura (PFB). Los mayores valores de

correlación se alcanzan con los parámetros Ov y PAM, con -0,65 y -0,77, respectivamente.

Respecto a la **punta en el extremo apical**, se han encontrado correlaciones positivas significativas con los parámetros la forma triangular (FST), forma circular (Circ), la relación entre altura y anchura del fruto (FSI I, FSI II), con valores muy similares, entre 0,41 y 0,42. También se han encontrado correlaciones negativas significativas con los parámetros Relación del ancho en la Posición de Bloqueo Superior al Ancho a Media Altura (PFB), los puntos comprendidos en 1% del perímetro (DAm) y los comprendidos en el 5% del perímetro. (DAM). En este caso, el parámetro con mayor correlación es DAm, con un valor de -0,74.

Con estos resultados, y a falta de repetir el estudio, o ampliarlo con otras líneas o híbridos De la pera, los parámetros mejor correlacionados con la **forma típica De la pera** serían PAM y Ov, mientras que con la **punta en el extremo apical** sería DAm.

4.3 Híbridos Muchamiel

Podemos apreciar en híbridos Muchamiel que los parámetros estimados visualmente (**Forma típica Muchamiel y altura de los Hombros**) si están correlacionados entre sí positivamente, cosa que no ocurría con **la forma típica De la pera y la punta en el extremo apical**.

Los parámetros que forman el bloque forma fruto (FSI I, FSI II, CFSI, FST) están muy correlacionados entre si positivamente. Estos parámetros están correlacionados negativamente con todos los parámetros excepto con FST, Ov y H.A.Ov, que miden la forma triangular, la forma ovoide y la asimetría horizontal.

Los parámetros que forman el bloque Blockiness (PFB, DFB) no están correlacionados entre ellos. El parámetro PFB esta correlacionado con la mayor parte de parámetros de forma positiva excepto con V.A y WWP. No están correlacionados con DFB, DAm, DAM.

Los parámetros que forman el bloque Homogeneidad (Ellip, Circ, Rect) estan muy correlacionados entre ellos de forma positiva. El parámetro Ellip esta

correlacionado con todos los parámetros excepto con Ov que mide la forma ovoide. El parámetro Rect esta correlacionado con todos excepto con PAm que mide el ángulo proximal micro.

Los parámetros que forman el bloque Forma proximal (PAm, PAM, PIA) están muy correlacionados entre ellos de forma positiva.

Los parámetros que forman el bloque Forma Distal (Dam, DAM) están muy correlacionados entre ellos de forma positiva. Están correlacionados negativamente con WWP, que mide el ancho de la posición mas ancha y con todos los parámetros de Homogeneidad (Ellip, Circ y Rect). También están muy relacionados negativamente con Ov y H_A_Ov que mide la forma ovoide y asimetría horizontal y con todos los parámetros de altura y anchura del fruto (FSI I, FSI II, CFSI y FST).

En los parámetros que forman el bloque asimetría (Ov, V.A, H_A_Ov y WWP), podemos observar que el parámetro Ov y H_A_Ov están correlacionados de forma negativa con WWP. Y el Parámetro Ov esta correlacionado de forma positiva con H_A_Ov. En el parámetro V.A no se observan correlaciones con el resto de los parámetros de asimetría.



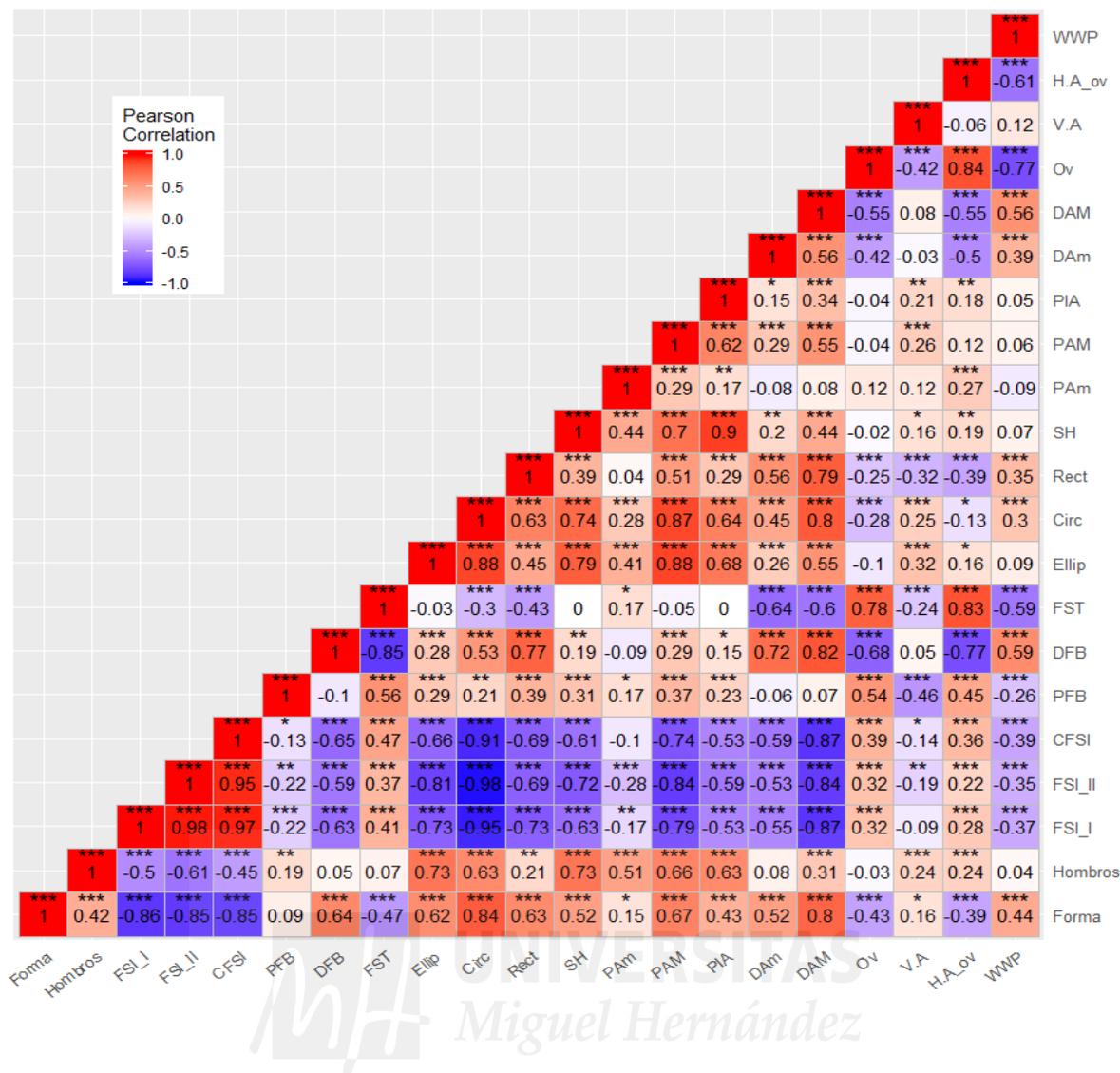


Gráfico 4: Correlaciones de los parámetros analizados, tanto con Tomato Analyzer como visualmente, en los híbridos Muchamiel. El nivel de significación de las correlaciones se representa con los asteriscos: * (p-valor<0.05), ** (p-valor<0.01) y *** (p-valor<0.001).

Por lo que se refiere a los parámetros estimados visualmente, en los Híbridos Muchamiel se han encontrado correlaciones positivas respecto a la **altura de los Hombros** con los parámetros Ellip y Circ que miden la forma elipsoide y circular. Con la forma de hombros (SH) y también con los parámetros PAM y PIA que miden el ángulo proximal macro y el área de sangría proximal. Los mayores valores de correlación se alcanzan con los parámetros Ellip SH, PAM y Circ con 0,73 y 0,73, 0,66 y 0,63 respectivamente. Así mismo, se han encontrado correlaciones significativas negativas con FSI I y FSI II que son parámetros de anchura y altura y CFSI que mide la forma curva con valores de -0,61, -0,5 y -0,45 respectivamente.

Respecto a la **forma típica de Muchamiel**, se han encontrado correlaciones positivas con la forma circular (CIRC), la forma rectangular (Rect), forma de hombros (SH), forma elipsoide (Ellip), El angulo proximal macro (PAM), el angulo distal macro y micro (DAM, DAm) y el bloqueo distal del fruto (DFB). Siendo los mayores valores de correlación 0.84 (Circ), 0,67 (PAM), 0.62 (Ellip) y 0,52 (SH). Se han encontrado correlaciones negativas con FSI I y FSI II que son parámetros de anchura y altura y CFSI que mide la forma curva con unos valores de -0,86, -0,85, -0,85 respectivamente.

Con estos resultados, y a falta de repetir el estudio, o ampliarlo con otras líneas o híbridos Muchamiel, los parámetros mejor correlacionados con la **Altura de hombros** serían Ellip y SH, mientras que con la **forma típica Muchamiel** sería FSI I, FSI II, CFSI y Circ.



5. CONCLUSIONES

Tomato Analyzer ha sido una herramienta útil para evaluar fenotípicamente distintos caracteres morfológicos de frutos de tomate de los tipos De la Pera y Muchamiel.

Con los resultados de este trabajo, y a falta de repetir o ampliar el estudio con otras líneas, podemos afirmar:

- En las líneas De la Pera los parámetros mejor correlacionados con la **forma típica De la pera** serían PAM y Ov, mientras que con la **punta en el extremo apical** sería DAm.
- En las líneas Muchamiel, los parámetros mejor correlacionados con la **Altura de hombros** serían Ellip y SH, mientras que con la **forma típica Muchamiel** sería FSI I, FSI II, CFSI y Circ.



6. BIBLIOGRAFÍA

Almekinders, C.J.M.; Louwaars, N.P.; de Bruijn, G.H. 1994. Local seed systems and their importance for an improvement seed supply in developing countries. *Euphytica* 78: 207-216.

Amorós, J. 2017. Evaluación de líneas de mejora de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) Muchamiel en distintas condiciones de cultivo. Trabajo fin de grado. Universidad Miguel Hernández.

Amurrio, J.M.; de Ron, A.M.; Escribano, M.R. 1993. Evaluation of *Pisum sativum* landraces from the northwest of the Iberian Peninsula and their breeding value. *Euphytica* 66:1-10.

Arellano, P. 2018. Evaluación de líneas de mejora de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) Muchamiel con resistencia a virus cultivadas bajo malla. Trabajo fin de grado. Universidad Miguel Hernández.

Cebolla, J; Nuez, F. 2005. Mejora genética de variedades tradicionales de tomate: un paso hacia la recuperación de su cultivo. *Actas Portuguesas de Horticultura* 4:62-68.

Ceccon, E. 2008. La revolución verde tragedia en dos actos. *Ciencias* núm. 91:20-29.

Esquinas-Alcázar, J. y Nuez, F. (1995). El Cultivo del Tomate. *Ediciones Mundi-Prensa*.

FAO/FAOSTAT. Bases de datos estadísticos de la FAO. (2018). Disponible en la web: <http://faostat.fao.org/>

Frankel, O.H. 1958. Plant breeding. *Journal of the Australian Institute of Agricultural Science* 24:112.

Frutos, A. 2014. Evaluación de varios cruces entre líneas de mejora con resistencia genética a virosis y variedades tradicionales de tomate (*Solanum lycopersicum*) de origen diverso. Trabajo fin de carrera. Universidad Miguel Hernández.

García, FS. 1999. El tomate. Estudio de la planta y su producción comercial. *Ed. Hemisferio Sur. Buenos Aires.*

García-García, P. 2004. Herramientas biotecnológicas y uso de recursos fitogenéticos. En: Resistencia genética a patógenos vegetales. Nuez, F.; Carrillo, J.M. y Pérez de la Vega, M. (Eds). Editorial de la UPV.

García-Martínez, S. 2006. Mejora genética de variedades tradicionales de tomate del sureste español. Tesis doctoral. Universidad Miguel Hernández.

Grayson, R.I. y Sawhney, V.K. (1972). Initiation and early growth of flowers organs of *Nigella* and *Lycopersicon*: insights from allometry. *Bot. Gaz.*, 133: 184-190.

Guzman, G.; González De Molina, M.; Sevilla, E. 2000. Introducción a la agroecología como desarrollo rural sostenible. *Ed. Mundi-prensa*, Madrid.

Hajjar, R.; Hodgkin, T. 2007. The use of wild relatives in crop improvement: A survey of developments over the last 20 years. *Euphytica* 156:1-13.

Hawtin, G.C.; Iwnaga, M.; Hodgkin, T. 1996. Genetic resources in breeding for adaptation. *Euphytica* 92: 255-266.

Hoyos, P.; Martín, M. 2005. El cultivo de tomate para fresco: situación actual y perspectivas desde el punto de vista técnico y comercial. San Fernando de Henares (Madrid).

Hunziker, A.T. 1979. South American Solanaceae: a synoptic survey. *Linn. Soc. Symp. Series* (7):49-85.

Knapp, S.K.; Peralta, I.E.; Spooner, D.M. 2004. New species of wild tomatoes (Solanum section Lycopersicon: Solanaceae) from Northern Peru. *Systematic Botany* 30 (2):424-434.

Nuez, F. y Ruiz, J.J. (1999). La biodiversidad agrícola valenciana: estrategias para su conservación y utilización. Servicio de publicaciones de la Universidad Politécnica de Valencia, Valencia.

Nuez, F. 1995. El cultivo del tomate. *Ediciones Mundi-Prensa*. 793 pp.

Nuez, F.; Ruiz, J.J. 1999. La Biodiversidad Agrícola Valenciana: Estrategias para su conservación y Utilización. UPV. Valencia.

Peralta (2008). Taxonomy of wild tomatoes and their relatives (Solanum sections Lycopersicoides, Juglandifolia, Lycopersicon; Solanaceae). *Syst Bot Monogr* 84:1-186.