

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ORIHUELA
Máster Universitario en Ingeniería Agronómica



Evaluación de líneas de mejora de tomate
(*Solanum lycopersicum* L.) De la pera en
distintas condiciones de cultivo

TRABAJO FIN DE MÁSTER

2017

AUTOR: Juan Francisco Salinas Marquina

TUTOR: Santiago García Martínez

Evaluación de líneas de mejora de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) De la pera en distintas condiciones de cultivo

Resumen.

En este trabajo se ha evaluado el efecto de diferentes condiciones de cultivo (convencional, bajos insumos y condiciones salinas) sobre algunos caracteres agronómicos y de calidad (número de frutos recolectados, peso medio de los frutos, producción total, contenido en sólidos solubles y acidez) en una colección de líneas de tomate De la pera con distintas resistencias genéticas a virus, derivadas del Programa de mejora de la EPSO-UMH.

La producción total para el cultivo convencional es superior a las otras dos, haciendo patente que tanto el exceso de salinidad, como la deficiencia de nutrientes, afectan negativamente a la producción. En condiciones de cultivo salinas se han obtenido frutos con un mayor valor de sólidos solubles y acidez. La acidez es el único carácter en el que se ha encontrado un efecto del genotipo, pues las líneas con resistencia a TYLCV alcanzaban menor valor de acidez.

Palabras Clave: *Solanum lycopersicum*, tomate, De la pera, cultivares tradicionales, condiciones salinas, bajos insumos.

Evaluation of tomato improvement lines (*Solanum lycopersicum* L.) De la pera in different growing conditions.

Abstract.

In this paper, the aim was to assess the effect of different growing conditions (conventional, low inputs, and saline conditions) regarding some agronomic and quality characteristics (number of fruit collected by plant, average fruit weight, total production, content of soluble solid particles, and acidity) in a collection of De la pera tomato lines with different levels of genetic resilience to viruses, derived from the improvement programme of the EPSO-UMH.

The total production for the conventional crop is superior to the other two, making it clear that both salinity excess and nutrient deficiency adversely affect production. In saline conditions fruits with higher value of soluble solids and acidity have been obtained. The acidity is the only character in which an effect of the genotype has been found, because the lines with resistance to TYLCV reached smaller value of acidity.

Keywords: tomato, traditional cultivars, breeding lines, low inputs, saline conditions.

1.- Introducción	7
1.1.- Situación Taxonómica	7
1.2.- Origen y difusión	7
1.3.- Características botánicas y fisiológicas	9
1.4.- Composición del Fruto	13
1.5.- Importancia económica del tomate	14
1.6.- Variedades tradicionales de tomate	19
1.7.- Línea de investigación a la que pertenece este trabajo fin de máster	29
2.- Objetivos	30
3.- Material y métodos	31
3.1.- Material Vegetal Empleado	31
3.2.- Condiciones de cultivo	32
3.3.- Instalaciones	33
3.4.- Manejo del cultivo	34
3.5.- Planificación de los ensayos	42
3.6.- Diseño experimental	43
3.7.- Caracteres analizados en el ensayo	44
3.8.- Tratamiento estadístico	48
4.- Resultados y discusión	49
4.1.- Caracteres productivos	49
4.2.- Caracteres de Calidad	56
5.- Conclusión	60
6.- Bibliografía	61

1.- Introducción

1.1.- Situación Taxonómica

El tomate cultivado pertenece a la familia de las solanáceas, la cual comprende 98 géneros y cerca de 2.800 especies que crecen en una gran diversidad de hábitats, desde zonas áridas hasta alta montaña. Esto ha contribuido, en buena medida, a la importante variabilidad genética presente entre las especies de este grupo (Olmstead y Bohs, 2007).

La taxonomía del tomate ha sufrido cambios a través del tiempo, originalmente el tomate fue clasificado como *Solanum lycopersicum* por Linneo, después fue reclasificado por Miller (1754) como *Lycopersicon esculentum*. En la actualidad el tomate se clasifica como *Solanum lycopersicum* L. (Child 1990; Peralta et al., 2008).

1.2.- Origen y difusión

El centro de origen del antiguo género *Lycopersicon* es la región andina que hoy comparten Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia y Chile. En esta área crecen espontáneamente las diversas especies del género. El lugar donde se produjo la domesticación ha sido controvertido, sin embargo, es comúnmente aceptada la hipótesis según la cual, *S. lycopersicum* var. *cerasiforme*, originaria de la región Andina, fue exportada a México como mala hierba, donde se domesticó y posteriormente se difundió hacia el Viejo Mundo (Jenkins, 1948; Rick, 1958).



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

Sobre cómo se realizó la domesticación en México, existen hipótesis que sugieren que fue una domesticación tardía. Es verosímil que esta mala hierba fuese la materia prima para la domesticación del tomate (Jenkins, 1948), posiblemente cuando ya otros cultivos como calabazas, chiles y maíz habían sido domesticados (Esquinas-Alcázar y Nuez, 1995).

Se mantiene además, que el tomate alcanzó un grado elevado de domesticación antes de su llegada a Europa. Esto se infiere de la gran diversidad de tipos, tamaños, formas y colores representados en los herbarios de la época. En ellos aparecen tanto tomates de fruto pequeño y liso de color amarillo o rojo, como tomates de tamaño grande, generalmente acostillados.

Cuando el tomate ya había alcanzado un alto grado de domesticación en México (Rick, 1976, 1978), los colonos españoles lo transportaron a Europa, alrededor del año 1500. El tomate se extendió en Europa progresivamente, debido a lo vistoso del fruto y la existencia de formas de consumo independientes del chile (Montes y Aguirre, 1992).

La aceptación del tomate fue muy desigual. En España e Italia se utilizó en la alimentación humana prácticamente desde su introducción (Rick, 1978), en la mayoría de los otros países fue utilizada sólo como planta ornamental debido a creencias infundadas sobre sus efectos, al relacionarla con otras solanáceas de reconocida toxicidad, ricas en alcaloides. Estas supersticiones perduraron en algunas zonas hasta el siglo XIX, de forma que en los países del centro y norte de Europa el cultivo del tomate no alcanzó importancia hasta principios del siglo XX.

1.3.- Características botánicas y fisiológicas

La planta de tomate es anual en su cultivo y puede ser semiperenne en regiones tropicales. (Valadez, 1998).

La semilla del tomate tiene forma lenticular con dimensiones aproximadas de 5 x 4 x 2 mm y está constituida por el embrión, el endospermo y la testa o cubierta seminal. El embrión, cuyo desarrollo dará lugar a la planta adulta, es 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. La testa está constituida por un tejido duro e impermeable, recubierto de pelos, que envuelve y protege el embrión y el endospermo (Maroto, 1994).

El sistema radical del tomate 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 del agua y nutrientes generalmente tiene pelos absorbentes.

Debajo de la epidermis se encuentra el córtex, que es un anillo de tres o cuatro células de espesor. La capa más interna constituye la endodermis que establece el límite entre el córtex y el cilindro central. El cilindro central es un tejido uniestratificado a partir del cual se forman las raíces secundarias (Picken et al., 1986).

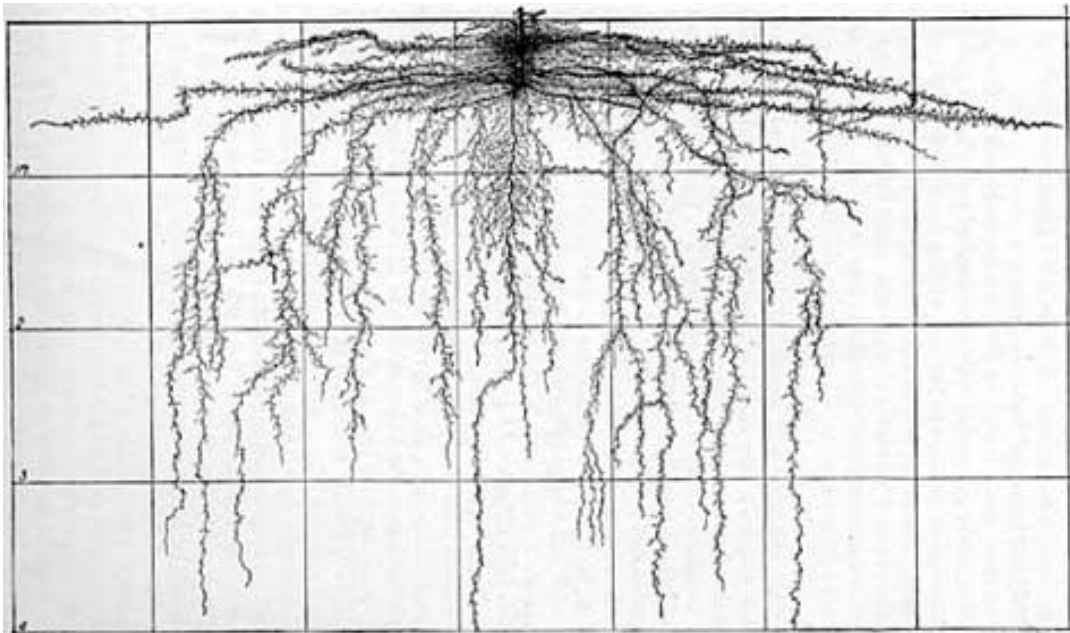


Figura 2. Modelo del sistema radicular de una planta de tomate (<http://soilandhealth.org/wp-content/uploads/01aglibrary/010137veg.roots/010137ch26.html>)

En las variedades cultivadas, la raíz puede extenderse superficialmente sobre un diámetro de 1.5 m y alcanzar más de 0.5 m de profundidad. Generalmente, el 70 % de las raíces se localizan a menos de 20 cm de la superficie (Varga y Bruinsma, 1986).



Figura 3. Representación de la planta de tomate en "Icones Plantarum Medicinalium" (Plenck, 1788)

El tallo del tomate es anguloso, recubierto en toda su longitud de pelos perfectamente visibles, muchos de los cuales, al ser de naturaleza glandular, le confieren a la planta un olor característico. En un principio el porte del tallo es erguido, hasta que llega un momento en que por simples razones de peso rastrea por el suelo. El desarrollo del tallo es variable en función de los distintos cultivares, existiendo dos tipos fundamentales de crecimiento (determinado e indeterminado).

- Cultivares con tallos de crecimiento determinado: aquellos en los que una vez que se han producido lateralmente varios pisos de inflorescencias (cada 1 ó 2 hojas) se detiene el crecimiento del tallo principal por la aparición de una inflorescencia terminal.

- Cultivares con tallos de desarrollo indeterminado: son los que poseen en el ápice del tallo un meristemo de crecimiento que produce un alargamiento continuado del tallo principal, formándose inflorescencias solamente en posición lateral (generalmente cada 3 hojas).



Figura 4. Plántula de tomate (<https://www.rodalorganiclif.com/garden/secrets-growing-plump-tomatoes>)

Las hojas del tomate son pinnado compuestas. Una hoja típica de las plantas cultivadas tiene unos 0.5 m de largo, algo menos de anchura, con un gran foliolo

terminal y hasta 8 grandes folíolos laterales, que pueden, su vez, 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 (Coleman y Greyson, 1976; Picken et al., 1986).

El racimo floral o inflorescencia está compuesto de varios ejes, cada uno de los cuales tiene una flor de color amarillo brillante. La inflorescencia se forma a partir del sexto o séptimo nudo, y cada una o dos hojas se encuentran las flores en plantas de hábito determinado, y en las de hábito indeterminado se forman a partir del séptimo o décimo nudo y cada cuatro hojas (Valadez, 1998).

La flor del tomate es perfecta, regular e hipógina y consta de 5 ó más sépalos, de 5 ó más pétalos dispuestos en forma helicoidal a intervalos de 135°, de un número igual de estambres que se alternan con los pétalos y de un ovario plurilocular, las flores, en número variable, se agrupan en inflorescencias (Grayson y Sawhney, 1972).

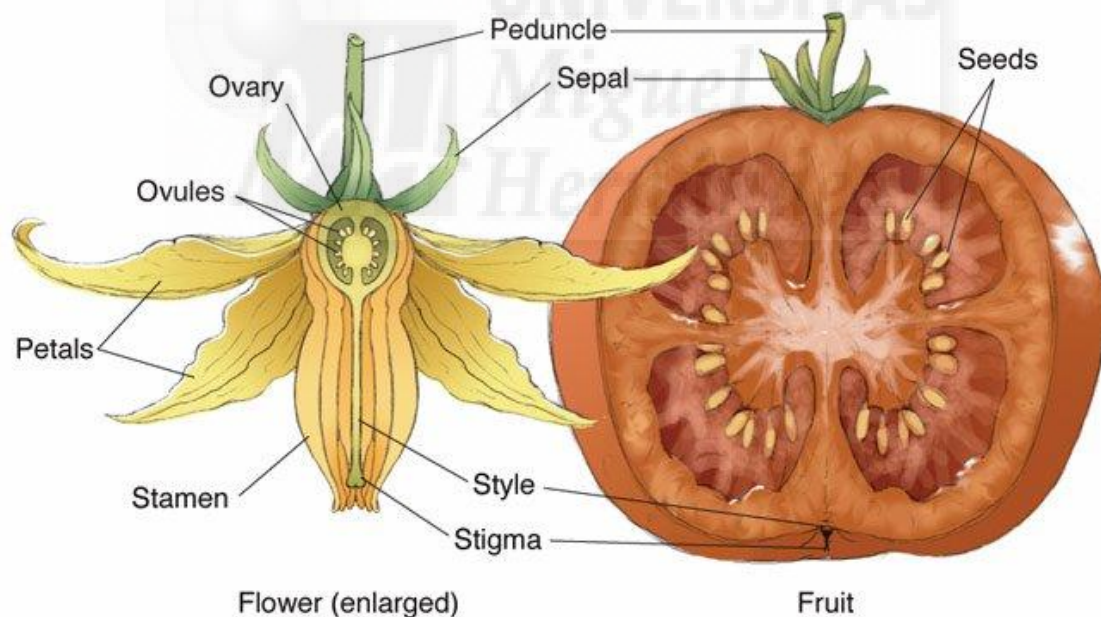


Figura 5. Esquema de flor y fruto del tomate (<https://www.buncombemastergardener.org/flicking-tomato-flower-tomato-fertilization/>)

El fruto del tomate es una baya plurilocular 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 500 g, en función de la variedad y las condiciones de desarrollo. El fruto está unido a la

planta por un pedicelo con un engrosamiento articulado que contiene la capa de abscisión.

El color del fruto del tomate generalmente rojo en la maduración, aunque algunas variedades pueden presentar otras coloraciones como, amarillo, violeta, etc. La superficie de la baya puede ser lisa o acostillada y en su interior se delimitan claramente los lóbulos carpelares, que pueden variar entre 2 y 30, el diámetro de los frutos varía entre 3 y 16 cm (Nuez et al., 1999).

1.4.- Composición del Fruto

Según un estudio adelantado por Steven (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 Folquer (1976) y Watt et al. (1975).

Agua	94%
Hidratos de carbono	4 g
Grasas	0.2 g
Proteínas	1 g
Cenizas	0.3 g
Otros (ácidos, licopeno, etc)	0.7 g
Vitamina A	1700 UI
Vitamina B1	0.10 mg
Vitamina B2	0.02 mg
Niacina	0.60 mg
Vitamina C	21 mg
pH	4 - 4.5
Calcio	13 mg
Fósforo	27 mg
Hierro	0.5 mg
Sodio	3 mg
Potasio	244 mg
Valor energético	22-24 cal.

1.5.- Importancia económica del tomate

1.5.1.- A nivel mundial y europeo

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.

En los últimos años se ha experimentado una diferencia en la tasa de crecimiento de la superficie cultivada y la de producción, aumentando más la producción que la superficie cultivada. Dicho aumento se explica con los mejores rendimientos en los cultivos, esto se explica con las mejoras en las técnicas de cultivo y a la disponibilidad de nuevas variedades de rendimiento superior. Este fenómeno se observa en los datos que presenta la Tabla 2, donde se puede observar que en los principales países productores de tomate, el rendimiento se incrementó entre un 2 y un 31% en el período 2002-2012 (FAOstat, 2014). Consultado en agosto de 2017.

Tabla 2. Variación de superficie cultivada y producción de los principales productores mundiales de tomate. FAOstat (2014). Consultado en Agosto 2017

	Producción año 2012 (tm)	Variación de superficie cultivada (%)	Variación del rendimiento (%)
China	50.000.000	22	31
India	17.500.000	47	19
EE.UU.	13.206.950	-19	14
Turquía	11.350.000	15	2
Egipto	8.625.219	12	11
Irán	6.000.000	19	15
Italia	5.131.977	-33	16
España	4.007.000	-21	18

Este incremento de rendimiento ha dado un aumento creciente de la producción mundial, para poder absorber estos volúmenes se han producido una serie de cambios en la demanda final del producto; aumento de la diversidad (aspecto exterior e interior), desarrollo de nuevas variedades (tipo ramillete y tipo cereza), mejora y variedad en el

producto procesado (salsas, jugos, purés, pastas, concentrado, tomate al natural, triturado, en polvo,...) apertura de nuevos mercados de exportación.

Tabla 3. Producción, superficie y rendimiento a nivel mundial en el periodo 2000-2014. FAOstat (2014). Consultado en Agosto 2017

Año	Producción millones de kg	Superficie cosechada Ha	Rendimiento (Kg/m ²)
2000	110.398	3.906.237	2,83
2001	108.262	3.886.762	2,79
2002	116.532	4.012.544	2,90
2003	119.719	4.095.337	2,92
2004	128.414	4.239.262	3,03
2005	129.374	4.290.411	3,02
2006	131.285	4.226.522	3,11
2007	137.496	4.226.467	3,25
2008	141.101	4.250.162	3,32
2009	154.406	4.549.486	3,39
2010	152.082	4.543.167	3,35
2011	158.207	4.722.430	3,35
2012	161.326	4.933.077	3,27
2013	163.963	4.725.416	3,47
2014	170.750	5.023.810	3,40

Los últimos datos disponibles de la FAO son del año 2014, sobre estos datos podemos observar un crecimiento continuo de la producción. Si observamos el gráfico, podemos apreciar la producción sigue una tendencia lineal de crecimiento.

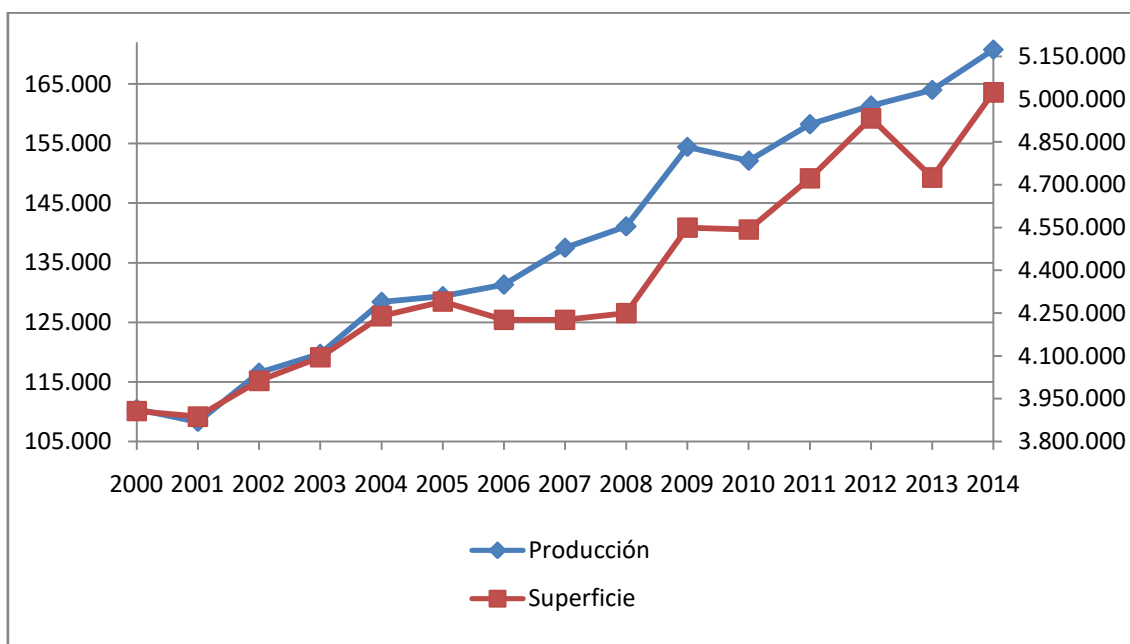


Figura 6. Representación gráfica de los datos de la Tabla 3

Desde el año 2008, nos encontramos con un crecimiento en la superficie cultivada, esto puede ser debido a la incorporación de nuevas variedades; con mejor producción, mayor calidad de fruto, resistencia a virosis, enfermedades y plagas, etc. Cabe destacar una gran caída de la superficie en el año 2013, la gráfica nos puede inducir a error. Observando los datos de la Tabla 3, vemos que se pierden solo 200.000 ha aproximadamente de un total de casi 5.000.000

Si bien se cultiva tomate en más de cien países, tanto para consumo fresco como para industria, los diez principales productores concentran más del 70% del total mundial como muestra la Tabla 4.

Tabla 4. Producción de los principales países del mundo en 2014. FAOstat (2014). Consultado en Agosto 2017

Países	2014 (Tn)
China	52.586.860
India	18.735.910
Estados Unidos	14.516.060
Turquía	11.850.000
Egipto	8.288.043
Irán	5.973.275
Italia	5.624.245
España	4.888.880
Brasil	4.302.777
México	3.536.305
Federación de Rusia	2.819.193
Uzbekistán	2.285.801
Ucrania	2.147.880
Nigeria	2.143.500
Portugal	1.399.535
Túnez	1.250.000
Marruecos	1.230.953
Mundo	170.750.769

1.5.2.- A nivel nacional

La cuenca mediterránea es una región relevante en la producción de tomate al aire libre. 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 (datos de FAOstat, 2014). Consultado en agosto 2017.

En España el cultivo 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.

Tabla 5. Serie histórica de superficie, rendimiento, producción, precio y valor. Anuario de Estadística MAPAMA (2016). Consultado Agosto 2017

Años	Superficie (miles de hectáreas)	Rendimiento (kg/m ²)	Producción (miles de toneladas)	Precio medio percibido por los agricultores (euros/100kg)	Valor (miles de euros)
2003	63,0	6,27	3.947,3	49,09	1.937.743
2004	69,9	6,27	4.383,2	41,21	1.806.318
2005	72,3	6,65	4.810,3	52,19	2.510.496
2006	56,7	6,70	3.800,6	37,24	1.415.326
2007	53,3	7,66	4.081,5	39,76	1.622.795
2008	54,9	7,38	4.049,8	37,25	1.508.533
2009	63,8	7,52	4.798,1	32,44	1.556.488
2010	59,3	7,28	4.312,7	37,78	1.629.341
2011	51,2	7,55	3.864,1	27,69	1.069.975
2012	48,6	8,32	4.046,4	30,04	1.215.542
2013	46,6	8,09	3.772,8	29,96	1.130.345
2014	54,7	8,09	4.865,5	28,99	1.410.497
2016	62,7	8,87	5.233,5		

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. Podemos resaltar estos dos factores:

- La dificultad para abrir nuevos mercados de exportación
- El aumento de las importaciones.

En cuanto la producción nacional se refiere, las tres principales provincias son; Andalucía, Extremadura y la Región de Murcia.

Tabla 6. Superficie, rendimiento y producción en España. ESYRCE 2016. Consultado en Agosto 2017

Provincias y Comunidades Autónomas	Superficie (ha)				Rendimiento (kg/ha)			Producción (tn)
	Secano	Regadío		Total	Secano	Regadío		
		Aire libre	Protegido			Aire libre	Protegido	
España	466	42.355	19.894	62.715	25.176	75.242	102.289	5.233.542
Andalucía	104	10.984	14.859	25.947	71.109	89.294	100.790	2.485.839
Extremadura	–	24.332	–	24.332	–	72.827	–	1.772.026
R. De Murcia	–	–	2.408	2.408	–	–	119.798	288.474
Navarra	–	2.186	50	2.236	–	81.990	82.000	183.330
Castilla-la mancha	77	1.197	33	1.307	4.226	72.558	160.000	92.458
Galicia	–	222	879	1.101	–	56.383	87.415	89.356
Canarias	4	96	790	890	35.000	44.708	98.945	82.598
C. Valenciana	38	733	484	1.255	7.663	35.777	108.099	78.835
Aragón	38	720	6	764	16.118	74.907	131.833	55.337
Cataluña	59	1.060	141	1.260	5.470	34.606	109.555	52.454
La rioja	–	195	19	214	–	71.000	105.000	15.840
Baleares	–	330	60	390	–	34.875	50.000	14.509
País vasco	80	139	75	294	9.125	19.658	51.721	7.341
Castilla y león	–	110	22	132	–	38.535	66.564	5.703
Madrid	–	21	33	54	–	52.000	120.000	5.052
P. De Asturias	50	30	35	115	15.000	30.000	45.000	3.225
Cantabria	16	–	–	16	72.810	–	–	1.165

En cuanto a la superficie cultivada, el regadío se impone sobre el secano con más de 62.000 ha cultivadas, de las cuales, 42.355, representan cultivos al aire libre. A pesar de ser la quinta en cuanto a producción, Castilla La Mancha, presenta el mayor rendimiento nacional, llegando a los 160.000 kg/ha.

1.6.- Variedades tradicionales de tomate

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. Precisamente la proliferación de cultivos procedentes de semillas híbridas y la pérdida de biodiversidad, es otra de las críticas recurrentes a la globalización alimentaria. Estos cultivos son preferidos por los agricultores al suponer un menor riesgo y ser más productivos que las variedades locales tradicionales. El monocultivo de variedades comerciales y el uso continuado de pesticidas a potenciado la resistencia de las plagas, lo que implica una mayor dispersión de las enfermedades a las que las variedades tradicionales son más sensibles.

Sin embargo, los cultivos locales constituyen un recurso natural que ha ganado importancia en los últimos años por ser los cimientos para la producción de alimentos, y la base biológica para la seguridad alimentaria, los medios de vida y el desarrollo económico (FAO, 2010). En este Segundo Informe de la FAO sobre el Estado de los recursos filogenéticos en el mundo para la alimentación y la agricultura se insiste en la necesidad acuciante de conservar y utilizar la diversidad genética de los cultivos locales.



Figura 7. Frutos de variedades tradicionales; Muchamiel (A), Morunos (B), Valencianos (C) y Monserat (D)

En las últimas décadas 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. 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.

En el caso concreto del producto que compete a este trabajo, el tomate tradicional, su baja resistencia a determinadas virosis ha hecho que su cultivo prácticamente haya desaparecido de determinadas zonas.

1.6.1.- El tomate “De la pera”

En el sureste de España existen diversas variedades tradicionales de tomate, como el “Muchamiel” de Alicante, el “Tres Cascos” de Elche, el “De la pera” de la Vega Baja del Segura, también en Alicante, el “Valenciano”, los “Tomates Morunos”, o el “Flor de baladre” Murcia.

El tipo “De la pera” está formado por un conjunto de variedades que tienen en común la forma aperada de sus frutos y una alta calidad organoléptica. Estas variedades se cultivan principalmente en el sur de la provincia de Alicante (en la comarca de la Vega Baja del Segura) y en las comarcas vecinas de Murcia.



Figura 8. Frutos de variedades tradicionales de tomate De la pera

El cultivo de esta variedad en la Vega Baja del Segura, comenzó a desaparecer a mediados del siglo pasado, debido en parte a la introducción de otros cultivos como el cáñamo, la alcachofa o el algodón, y a la introducción de variedades mejoradas de tomate “italiano”, especialmente adecuadas a la industria conservera.

En aquel tiempo su cultivo estaba destinado principalmente a la industria conservera, aunque una pequeña parte se destinaba a consumo en fresco. En la actualidad su escaso cultivo se destina fundamentalmente a 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).

Como se ha comentado en puntos anteriores, este abandono supone una pérdida irreversible de diversidad genética, ya que, además de las claras diferencias apreciables a simple vista; formas, tamaño o color. Se ha comprobado que también existen estas diferencias para caracteres de calidad tanto entre los distintos tipos varietales como dentro de cada uno de ellos.



1.6.2.- Programa de mejora genética.

La mejora genética vegetal se entiende como el proceso de creación de nuevas variedades de plantas cultivadas con el fin de mejorar su rendimiento, ya sea por un aumento de su producción o de su calidad, como por una mayor facilidad para su cultivo.

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 – Tomato Mosaic Virus – Virus de Mosaico del Tomate
- TSWV – Tomato Spotted Wilt Virus – Virus de Moteado del Tomate
- TYLCV – Tomato Yellow Leaf Curl – Virus del Rizado Amarillo del Tomate



Figura 9. Plantas de tomate afectadas por; ToMV (A), TYLCV (B), TSWV (C)

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.** Debido a la cantidad de trabajo que supone un programa de mejora, es vital conocer adecuadamente la variabilidad del material vegetal a utilizar. Así, se podrán definir adecuadamente los objetivos del plan de mejora, las estrategias más adecuadas y saber cuál es el mejor material vegetal para emplearlo en el programa. Es conveniente realizar una caracterización exhaustiva del material durante varios años, estudiando todos los parámetros (tanto agronómicos, organolépticos como de comportamiento en postcosecha), solamente así se puede tener seguridad a la hora de elegir las plantas a emplear en el programa de mejora.

En el caso de este programa de mejora, en los años 1998, 1999 y 2000, se realizaron distintos ensayos, en distintos sistemas productivos, en los que se caracterizó una colección de variedades de tomate “De la pera”, “Muchamiel” y “Morunos” fundamentalmente.

- **Realización de cruzamientos.** La fuente de resistencia escogida fue el híbrido F1 Anastasia, de Seminis Vegetable Seeds, que contiene los genes *Sw-5*, *Ty-1* y *Tm-2a*. De todas las posibles fuentes de resistencia disponibles que se evaluaron resultó ser la que mejor comportamiento frente a las virosis citadas manifestó. Además con los marcadores empleados se obtenían los resultados esperados, a diferencia de lo que ocurría con otros híbridos.

Los cruces se realizaron de forma manual, emasculando (eliminando los pétalos y estambres) las flores de las variedades tradicionales, antes de que el polen alcanzase la madurez y depositando polen de la fuente de resistencia en el estigma de la flor “castrada”. La elección de las flores a polinizar es crucial, pues si están en un estadio prematura será difícil el cuajado y si son demasiado maduras se pueden haber autofecundado.

En las flores cruzadas se eliminaron varios sépalos, quedando dos o tres, para distinguir los frutos cruzados de los autofecundados. Estos cruzamientos se realizaron en el ciclo primavera de 2001, durante los meses de marzo a junio, en un invernadero sin calefacción.

El porcentaje de frutos cuajados que producen semillas depende de muy diversos factores, cabe destacar la importancia de la posición en la flor del ramillete, las condiciones climáticas y la habilidad de la persona que lo realiza. En nuestras condiciones este porcentaje oscila entre el 10 y el 40%.

- **Realización de retrocruzamientos.** Tras realizar los cruzamientos entre la variedad cultivada y la fuente de resistencia, la descendencia debe cruzarse repetidas veces con la variedad original, para recuperar las características agronómicas deseadas. En cada generación se debe discriminar los individuos portadores de los genes de resistencia o tolerancia, de los que no los portan. Los primeros, serán los ejemplares con los que se continúe el proceso de retrocruzamientos, mientras que los no portadores serán desechados.

Tradicionalmente se ha llevado a cabo una selección fenotípica, evaluando la respuesta de cada individuo frente a la inoculación con el virus y seleccionando aquellos que no mostraban los síntomas de la enfermedad.

Se han empleado marcadores moleculares para la selección precoz de individuos portadores de todos los genes de interés. En las distintas generaciones de retrocruzamientos se han empleado de forma complementaria la selección genotípica, mediante marcadores, y la selección fenotípica. Ambas técnicas no son excluyentes, habiéndose confirmado que el resultado óptimo se obtiene empleando una combinación de las dos técnicas (García-García P., 2004).

- **Fijación de los genes de resistencia.** Cuando se considera que se han recuperado las características de la variedad original, los individuos con los genes de resistencia introducidos en heterocigosis se autofecundan, para seleccionar los homocigotos resistentes, y así tener los genes de resistencia fijados. Toda la semilla que se obtenga por autofecundación de estas plantas será homocigota resistente, por lo que se puede recoger y cultivar. En este programa se realizó a partir del sexto retrocruce.

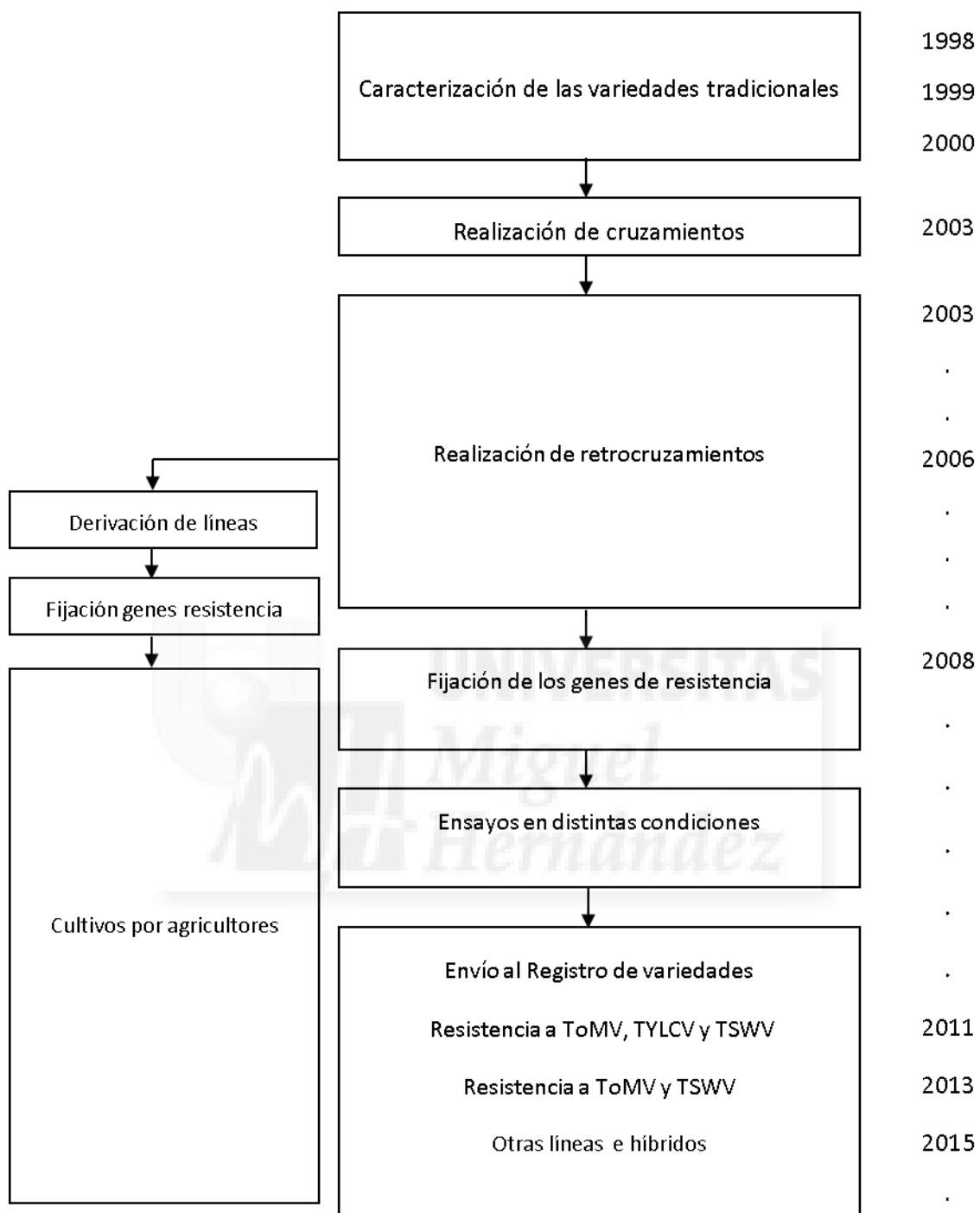


Figura 10. Esquema del programa de mejora

- **Selección de las mejores líneas.** Una vez fijadas las líneas, hay que seleccionar las que mejor se comporten en cada condición, tanto agrónomicamente como de calidad. Los primeros ensayos para seleccionar las mejores líneas se presentaron en varios Trabajos Fin de Carrera (Alonso, 2010; Sema, 2011; Olmo, 2011; Burguet, 2012; Del Espino, 2012; Ruiz, 2013;...).

- **Envío al registro.** 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. En 2013 se concedieron los Títulos de Obtención Vegetal de las líneas de mejora de tomate UMH 1200 (tipo Muchamiel) y UMH 1203 (De la pera). En 2017 se han obtenido los Títulos de Obtención Vegetal de las líneas de mejora de tomate UMH 1139 (Muchamiel) y UMH 1422 y UMH 1415 (De la pera). Actualmente están en marcha los trámites de inscripción para otras líneas, que aparecen en la Tabla 7.

Tabla 7. Líneas inscritas en los registros, y en proceso, con su genotipo para los 3 genes de resistencia a virus.

Tipo varietal	Línea/híbrido	Resistencias	Envío	Obtención Título
		ToMV-TYLCV-TSWV		
Muchamiel	UMH 1200	RR-RR-RR	2011	2013
Muchamiel	UMH 1139	RR-ss-RR	2013	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	2014	2017
De la pera	UMH 1354	RR-ss-RR	2014	2017
Híbrido Muchamiel	UMH 1101 x IF	Rs-Rs-Rs	2014	2017
Híbridos	UMH 1200 x BfT	Rs-Rs-Rs	2017	2019
Híbridos	UMH 1200 x Costoluto	Rs-Rs-Rs	2017	2019
Cherry	UMH 1401	RR-ss-RR	2015	2018
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

1.7.- Línea de investigación a la que pertenece este trabajo fin de máster

Este trabajo fin de máster forma parte del proyecto europeo “Traditional tomato varieties and cultural practices: a case for agricultural diversification with impact on food security and health of European population ”, coordinado por el Dr. Antonio Granell del instituto de Biología Molecular y Celular de Plantas (IBMCP), centro mixto de la Universidad Politécnica de Valencia (UPV) y el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), en el que participa el Grupo de Mejora Genética de la EPSO-UMH. En este proyecto participan grupos de investigación de Inglaterra, Francia, Holanda, Italia, Grecia, Israel y España, además de varias empresas españolas. Su periodo de realización es de 3 años (mediados de 2015 a mediados de 2018).

Uno de los objetivos del proyecto es el estudio de la influencia de distintas condiciones de cultivo (convencional, bajos insumos y condiciones salinas) sobre distintos caracteres (de calidad, nutricionales, agronómicos, etc.) en una gran colección de variedades tradicionales de tomate europeas, así como variedades tradicionales mejoradas.

En 2015 se cultivó en el invernadero de malla de la EPSO una colección de líneas de mejora Muchamiel en condiciones convencionales y de bajos insumos, cuyos resultados se recogieron, parcialmente, en los Trabajos Fin de Grado de Espuch (2015) y de Vañó (2016). A la vista de los resultados, en 2016 se incluyeron las condiciones de cultivo salinas y las líneas de mejora De la pera, manteniendo todo lo demás.

2.- Objetivos

El objetivo de este trabajo es evaluar el efecto de diferentes condiciones agronómicas (convencional, bajos insumos y salinas).

Se estudiará la influencia de estas condiciones sobre los caracteres cualitativos (sólidos solubles y acidez) y cuantitativos (número de frutos y peso de los mismos) en una colección de líneas de mejora de tomate De la pera con distintas resistencias genéticas a virus, derivadas del Programa de mejora de la EPSO-UMH.



3.- Material y métodos

3.1.- Material Vegetal Empleado

En el ensayo se han estudiado tres líneas y un híbrido de mejora de tomate de la pera, procedentes del programa de mejora de la EPSO. UMH 1203 (con resistencia en homocigosis a 3 virus), UMH 1354 (con resistencia en homocigosis a 2 virus), UMH 1422 (con resistencia en homocigosis a 1 virus), y el híbrido UMH 1203 x 21 (con resistencia en heterocigosis a 3 virus). El genotipo para los distintos genes de resistencia de cada línea aparece en la Tabla 8.

Tabla 8. Genotipo de las líneas e híbrido estudiados, para los 3 genes de resistencia introducidos. (*Tm-2^a*, confiere resistencia a Tomato mosaic virus; *Ty-1*, confiere tolerancia a Tomato yellow leaf curl virus; *Sw-5*, confiere resistencia a Tomato spotted wilt virus)

Línea-híbrido	Gen de resistencia		
	ToMV	TYLCV	TSWV
UMH 1203	RR	RR	RR
UMH 1354	RR	ss	RR
UMH 1422	RR	ss	ss
UMH 1203x21	Rs	Rs	Rs



Figura 11. Híbrido UMH 1203x21 (Izquierda). Parental 1203 (Derecha)

3.2.- Condiciones de cultivo

En este ensayo se cultivaron las plantas en tres condiciones distintas, dentro del mismo invernadero situado en la Escuela Politécnica Superior de Orihuela, en el término municipal de Orihuela (Alicante):

- Cultivo convencional, con incorporación de estiércol durante el laboreo del suelo, y aplicando la fertirrigación normal para este cultivo.
- Cultivo de bajos insumos, sin abonado ni estercolado de fondo, y usando para el riego agua con conductividades inferiores a 0,8 ds/cm
- Cultivo salino, incorporación de estiércol y fertirrigación igual que la convencional, añadiendo sal común al agua de riego hasta alcanzar conductividades de 6 ds/cm.



3.3.- Instalaciones

Los cultivos se realizaron en un invernadero de malla, también llamado invernadero cortavientos, multicapilla. La malla es de monofilamento transcarnado de densidad 6x9 o 10x16, según la zona, y un faldón perimetral de plástico de 800 galgas. Sus dimensiones son las siguientes: 26 metros de ancho, 36 metros de profundidad, 4 metros de altura hasta el canal y 5 metros hasta la cumbrera.



Figura 12. Invernadero de malla de Escuela Politécnica Superior de Orihuela

3.4.- Manejo del cultivo

3.4.1.- Semillero

La realización del semillero para los cultivos se realizó en los Semilleros José y Belén, empresa situada en Albaterra (Alicante). Se utilizaron bandejas de poliestireno expandido de 150 alvéolos. El sustrato empleado en los diferentes semilleros fue turba rubia (80%) y turba negra (20%) enriquecida con fertilizantes.



Figura 13. Bandejas de siembra etiquetadas listas para la germinación

3.4.2.- Preparación del terreno

En la EPSO, donde se llevaron a cabo los cultivos, se desinfectó el suelo, utilizando metam-sodio.

En el suelo donde se realizó el cultivo en condiciones convencionales y salinas se aplicó 2,5 kg/m² de estiércol de oveja, de fondo. En condiciones de bajos insumos no se aplicó estiércol.



Figura 14. Detalle del terreno ya preparado previo a la instalación de acolchado

Para todas las condiciones de cultivo, previo al trasplante, se realizó una labor de subsolador y otra de fresadora. En las líneas de cultivo se instaló un acolchado negro, para reducir el desarrollo de las malas hierbas y mantener la humedad del suelo.

3.4.3.- Trasplante

El trasplante se realizó cuando las plántulas tenían 50 días, con la ayuda de un plantador “tipo pato”.



Figura 15. Proceso de trasplante

3.4.4.- Marco de plantación

En las tres condiciones, las plantas se disponían en 2 filas pareadas, separadas 50 centímetros. Dichas filas tenían 2 metros de separación entre ejes, y la separación entre plantas era de 40 centímetros, con lo que obtiene una densidad de 2,5 pl/m².



Figura 16. Pasillo de cultivo en el invernadero de malla

3.4.5.- Entutorado y poda

Para su Entutorado se emplearon hilos de rafia, sujetos al emparrillado de alambre de la parte superior de la estructura. Para sujetar el tallo al hilo de rafia, se emplean anillas de plástico.

Para la poda, se decidió dejar una guía o tallo. Los brotes laterales (o axilares) se eliminaban cada 7-10 días.

Para evitar la transmisión del virus del mosaico del tomate entre las plantas de variedades tradicionales, que son sensibles, los cuchillos se limpiaban con lejía con frecuencia y los guantes eran sustituidos.



Figura 17. Detalle del entutorado

3.4.6.- Fertirrigación

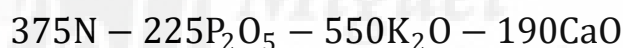
El agua de riego utilizada en las condiciones convencionales y salinas procede del río Segura, y es almacenada en la balsa de la EPSO. Para el cultivo en condiciones de bajos insumos se utilizó agua potable, para tener la seguridad de no aportar ningún fertilizante.

En todos los casos, se ha utilizado riego localizado por goteo. Los emisores son autocompensantes, y tienen un caudal de 1,6 l/h

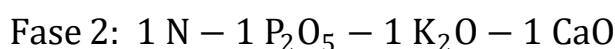
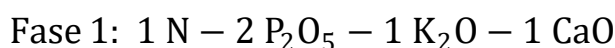
En todos los casos, el riego variaba en función de la fase de desarrollo de cultivo, al igual que la fertilización, distinguiéndose 3 fases:

- Fase 1: Desde la plantación hasta la aparición del tercer racimo floral.
- Fase 2: Final de la fase 1 hasta el viraje de color de los primeros frutos.
- Fase 3: Final de la fase 3 hasta el final del cultivo.

La fórmula de abonado para el cultivo convencional y salino fue la siguiente:



La distribución de estas unidades fertilizantes a lo largo del cultivo siguió las siguientes proporciones:



En el caso del cultivo salino, se incorporó al riego cloruro de sodio, hasta conseguir la conductividad eléctrica (CE) deseada en cada fase. Este fue adquirido en una fábrica de salazones. En el cultivo de bajos insumos no se aplicaron fertilizantes.

La CE de la solución de riego en cada una de las condiciones de cultivo, se midió de forma diaria. Además cada dos días se midió la CE de las sondas dispuestas a:

15, 30 y 60 centímetros de profundidad. Se recogen los valores promedios semanales en la Tabla 9.

Tabla 9. Conductividad media semanal del agua de riego y las muestras de las sondas

Semana	Salino				Bajos Insumos				Convencional			
	Riego	Sondas (cm)			Riego	Sondas (cm)			Riego	Sondas (cm)		
	R1	15	30	60	R2	15	30	60	R3	15	30	60
1	2.6	8.89	7.2	7.75	0.5	1.19	1.7	3.5	2.55	3.82	3.1	4.28
2	2.86	9.29	7	8.3	0.85	1.6	3.44	2.7	2.85	3.1	2.88	4.57
3	2.1	8.35	6.2	6.3	0.75	1.25	2.26	4.1	2.1	2.3	3.63	5.44
4	2.47	6.9	4.9	7.94	0.82	1.31	2.55	4.47	2.36	2.54	3.75	4.94
5	2.93	5.97	5.46	7.45	0.73	1.45	2.15	4.16	2.26	2.44	3.6	5.45
6	3.64	6.25	5.83	6.76	0.66	1.30	2.0	4.24	2.49	2.71	3.92	5.26
7	4.01	7.38	6.69	6.59	0.50	1.34	1.91	4.13	2.53	2.65	4.09	4.75
8	4.76	7.45	7.66	6.96	0.51	1.38	1.8	4.05	2.38	2.77	4.19	4.45
9	5.43	8.22	8.01	8.11	0.51	1.39	1.69	4.05	2.33	2.67	3.80	4.28
10	5.61	8.5	8.55	8.73	0.58	1.7	1.91	3.84	2.44	2.67	4.00	4.46
11	5.48	9.57	8.81	9.44	0.61	1.79	1.83	3.85	2.82	2.74	3.68	4.62
12	5.04	8.17	8.44	8.40	0.73	1.73	2.37	3.9	2.59	2.8	3.22	4.69
13	5.3	7.7	8.94	8	0.76	1.43	2.38	3.94	2.59	2.83	3.41	4.65
14	5.91	7.52	7.91	7.26	0.68	1.54	1.86	3.78	2.57	4.23	4.02	4.91

Para cubrir las necesidades de micronutrientes en el cultivo convencional y salino se aportaron distintos productos, que aparecen en la Tabla 10. En el cultivo en bajos insumos no se aplicaron.

Tabla 10. Productos con aporte de micronutrientes

Nombre Comercial	Composición
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%)

3.4.7.- Tratamientos fitosanitarios

Se realizaron tratamientos cada 10-15 días. Las plagas con mayor incidencia durante el ensayo fueron; trips (*Frankliniella occidentalis*), mosca blanca (*Bemisia tabaci*) y tuta (*Tuta absoluta*). Otras plagas y enfermedades con menor incidencia durante el ensayo fueron plusia (*Chrysodeixis chalcites*), araña roja (*Tetranychus urticae*) y oídio o mancha amarilla (*Leveillula taurica*).

Cabe hacer especial mención al control de la plaga *Tuta absoluta*, la cual supuso un problema a lo largo de toda la duración del cultivo, pues afectó en cierta medida a las plantas de tomate y condicionó en todo momento la forma de aplicar los demás tratamientos. En los ensayos realizados también apareció vasates (*Aculops lycopersici*). Los productos autorizados aparecen en la Tabla 11.

Tabla 11. Productos para tratamientos fitosanitarios

Nombre Comercial	Materia Activa
ALVERDE	Metaflumizona 24% p/v
Antimildiu triple	Cimoxalino 4% + Folpet 25% + Fosetil Al 50%
Atominal	Piriproxifen 10%
Bacillus B-Tec 32	<i>Bacillus thuringiensis</i>
Bravo 50 SC	Clortalonil 50% p/v
Caddy 10 pépite	Ciploconazol 10%
Cal Ex Avance	Abamectina
Captan	Captan
Cirox	Ciromazina
Dicarzol	Formetanato 50%
Doam Mojante	Alcohol Isotrideciloetoxilado 20%
Fenos	Flubendiamida 24% p/v
Feromona <i>Tuta absoluta</i>	Feromona
Pirimicarb	Carbamato
Kumulus DF	Azufre 80%
Oberon	Spiromesifen 24% p/v
Rufast Avance	Acrinatrín 7.5% p/v
Steward	Indoxacarb 30%
Reldan	Metil-Clorpirifos 22.4% [EC] p/v
Doryoku	Etoxazol 11% [SC] p/v
Thiovit	Azufre 80% [WG] p/p
Costar	<i>Bacillus thuringiensis kurstaki</i> 18% [WG] p/p
Fenos	Flubendiamida 24% [WG] p/p

3.4.8.- Recolección

Se realizaba la recolección de los frutos semanalmente, cuando los frutos tenían al menos la mitad de la superficie de color rojo, estando en el que se pueden consumir sin ningún problema.

3.5.- Planificación de los ensayos

En la Tabla 12, aparecen las fechas en las que se realizaron las tareas más importantes del cultivo, así como las 4 recolecciones que se llevaron a cabo en las distintas condiciones.

Tabla 12. Calendario de cultivo

Tarea	Fecha
Siembra	24/02/2016
Trasplante	15/04/2016
1º recolección	05/07/2016
2º recolección	14/07/2016
3º recolección	22/07/2016
4ª recolección	27/07/2016
Medida	21-26 /10/2016

3.6.- Diseño experimental

En los ensayos se dispusieron 2 repeticiones, orientación norte y sur, de 5 a 7 plantas de cada línea, variedad o cruce. Al principio y al final de cada línea se dispusieron dos plantas de híbrido como borde.

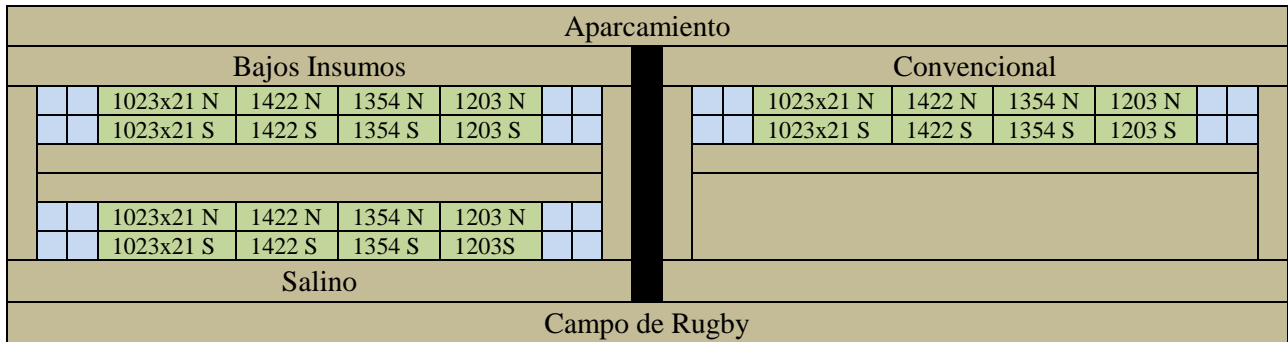


Figura 18. Disposición de las líneas en el invernadero

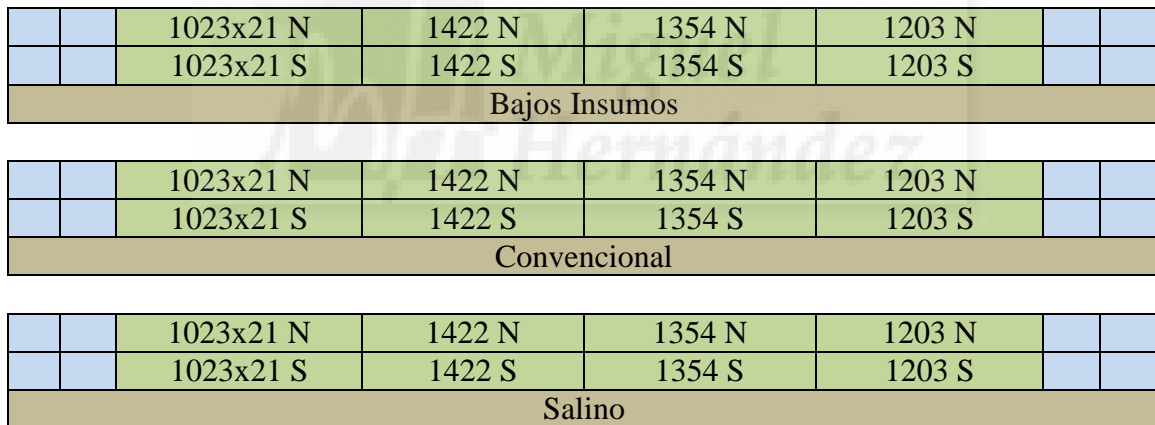


Figura 19. Detalle de la disposición de las repeticiones en los pasillos

3.7.- Caracteres analizados en el ensayo

3.7.1.- Caracteres productivos

3.7.1.1.- Producción total

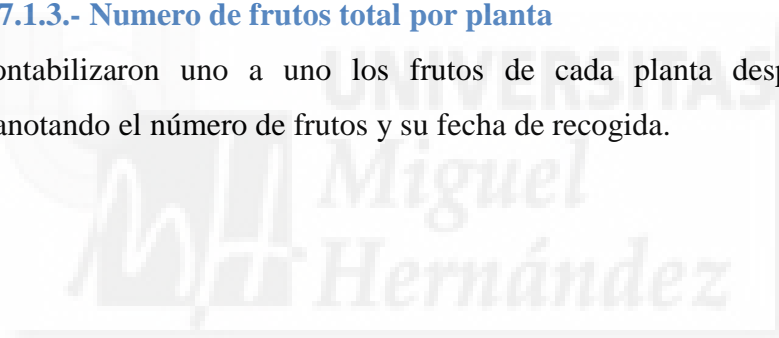
Se calculó como la suma de todos los frutos recolectados de cada planta, expresándose en kg/planta.

3.7.1.2.- Peso medio total del fruto

Se calculó como la media de todos los frutos recolectados. Las medias fueron tomadas en gramos, sin decimales.

3.7.1.3.- Numero de frutos total por planta

Se contabilizaron uno a uno los frutos de cada planta después de cada recolección, anotando el número de frutos y su fecha de recogida.



3.7.2.- Caracteres de calidad

Los valores de sólidos solubles y acidez vienen determinados por el estado de maduración de los frutos, por lo que es muy importante que los frutos analizados tengan un estado de maduración lo más homogéneo posible. Por esta razón, tras la recolección se seleccionaban frutos maduros, lo más homogéneos posibles en cuanto a la maduración de cada línea, para medir los sólidos solubles y la acidez en el laboratorio. Para cada una de las repeticiones de cada línea, se seleccionaban entre 3 y 4 frutos, que se cortaban en trozos, para triturarlos con una batidora doméstica.

El triturado se guardaba en tubos falcón de 50 mililitros, etiquetados con el nombre de la línea, la repetición y la orientación, que se guardaron en un congelador a -15°C para su posterior análisis, en Septiembre de 2016.

Para medir el contenido en sólidos solubles, así como la acidez, tras descongelar las muestras se equilibraban por parejas, y se centrifugaban a 3.500 rpm durante 1 minuto. Se eliminaba la mayor parte de la pulpa dejando el sobrenadante, se equilibraban de nuevo, y volvían a centrifugarse a 3.500 rpm durante 5 minutos. El sobrenadante de cada tubo, sin pulpa, se utilizaba para realizar la mediada por duplicado.

3.7.2.1.- Sólidos solubles

Los sólidos solubles están constituidos en su mayor parte por azúcares, los más abundantes son la glucosa y la fructosa, que se encuentran en proporciones similares. Los sólidos solubles se midieron por duplicado, con un refractómetro digital Atago (Figura 20), expresándose el resultado en grados Brix.



Figura 20. Refractómetro digital ATAGO

3.7.2.2.- Acidez

Este parámetro se analizó a partir del sobrenadante, sin pulpa, obtenido tras la centrifugación, que se ha utilizado también para medir el contenido de sólidos solubles.

La acidez se valoró, por duplicado, con NaOH en concentración 0,1 N hasta Ph 8,01 con un pHmetro pHmatic 23 CRISON (Figura 21), expresándose el resultado en gramos de ácido por cada 100 gramos de sobrenadante.



Figura 21. Valorador de acidez CRISON

3.8.- Tratamiento estadístico

Se realizó un análisis de la varianza multifactorial con dos factores: la variedad (cuatro líneas) y las condiciones de cultivo (convencional, salinas y bajos insumos).

Si se encuentran diferencias significativas, se aplica un contraste post-hoc de Newman-Keuls para establecer la diferencia significativa entre los valores medios de cada tratamiento. Ambos análisis se realizaron con el programa STATGRAPHICS PLUS versión 3.1 para Windows.

En los caracteres productivos los análisis se realizaron con los valores de cada planta, mientras que en los caracteres de calidad se realizaron con los valores de cada repetición.



4.- Resultados y discusión

4.1.- Caracteres productivos

4.1.1.- Producción total

El análisis de la varianza para la producción total (Tabla 13) muestra que existen diferencias significativas para las condiciones estudiadas y para las líneas de cultivo. La interacción entre los factores también es significativa.

Tabla 13. Análisis de la varianza multifactorial (variedad y condiciones de cultivo) para la producción total

Fuente de Variación	Suma de cuadrados	G.L.	Cuadrados medios	F	Nivel de significación
Efectos principales					
A: Condiciones	1,59114x10 ⁷	2	7,95572x10 ⁶	12,87	0,0000
B: Línea	4,11813x10 ⁷	3	1,37271x10 ⁷	22,20	0,0000
Interacciones					
AB: Condiciones – Línea	1,29703x10 ⁷	6	2,16172x10 ⁶	3,50	0,0033
Residual	7,11098x10 ⁷	115	618346,0		
Total (corregido)	1,45541x10 ⁸	126			

Como la interacción es significativa no se pueden utilizar los test de rango múltiple. En este caso se debe utilizar una gráfica de interacción (Figura 22)

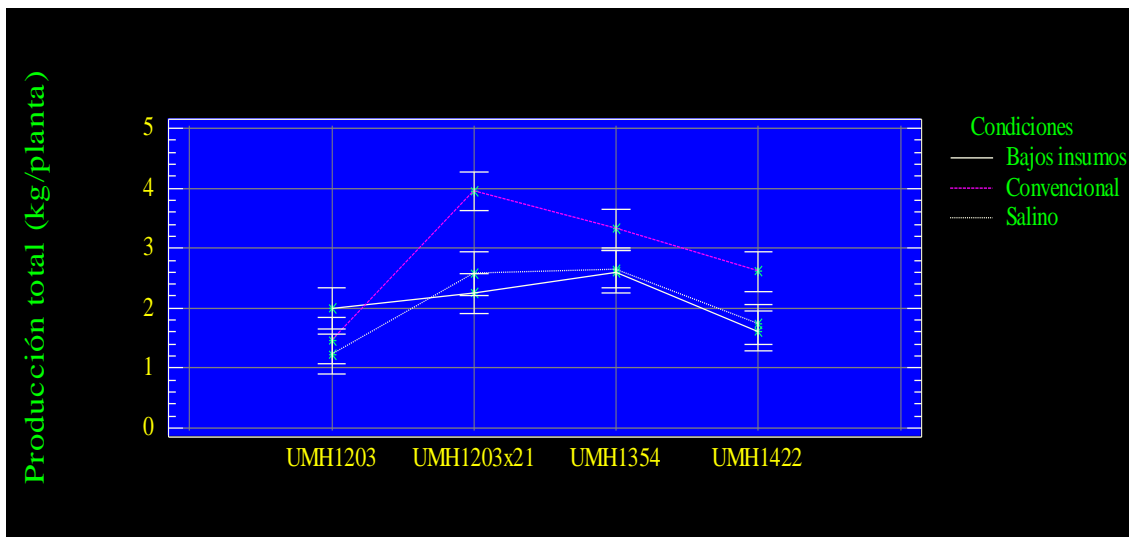


Figura 22. Gráfica de Interacción para la Producción total para las diferentes líneas y condiciones de cultivo. Las barras corresponden al intervalo de Mínima Diferencia Significativa (LSD: Least Significance Difference) al 95% de nivel de confianza.

La producción obtenida en condiciones convencionales es mayor que en bajos insumos y condiciones salinas, excepto para la línea UMH1203, en la que no hay diferencias entre las condiciones de cultivo. La mayor producción del cultivo convencional es debida al efecto positivo que la fertilización tiene sobre el desarrollo y producción, y también fue obtenido en las líneas Muchamiel con el mismo genotipo cultivadas en paralelo (Amorós, 2017), así como en el de Espuch (2015), que estudió una colección distinta de líneas de mejora y variedades tradicionales Muchamiel. En los 3 estudios, alguna línea no presenta diferencias significativas para la producción entre las condiciones de cultivo.

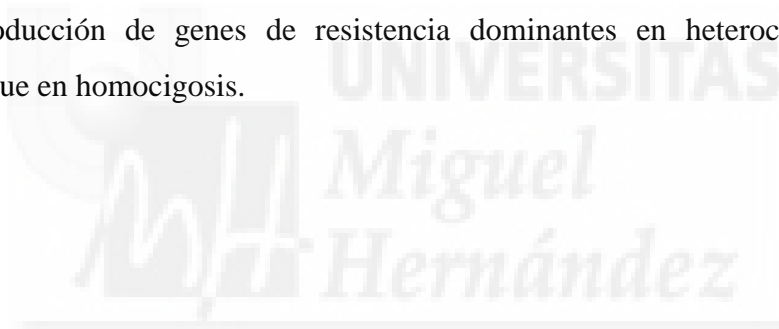
No se han encontrado diferencias significativas entre las condiciones salinas y de bajos insumos, excepto en la línea UMH1203, para la que se obtiene mayor producción en bajos insumos que en condiciones salinas. Este resultado difiere del obtenido en las líneas Muchamiel por Amorós (2017), en el que la producción en condiciones salinas fue significativamente superior a bajos insumos en 3 de las 4 líneas estudiadas. Si se repite este resultado (en los ensayos de 2017), se podría sugerir que el tipo Muchamiel es más sensible a la salinidad que el De la pera.

El híbrido UMH1203x21 es el que presenta la mayor diferencia de producción entre las condiciones de cultivo convencionales y las demás, seguido por la línea UMH1422. En el trabajo de Amorós (2017), con líneas Muchamiel, las que tienen

genotipos equivalentes son también las que tienen mayores diferencias entre las condiciones de cultivo.

Los valores de producción obtenidos en este trabajo con líneas De la pera son muy similares a los de Amorós (2017) con líneas Muchamiel en condiciones de bajos insumos. Sin embargo, son claramente inferiores a los obtenidos en condiciones convencionales y de bajos insumos.

El híbrido UMH1203x21 es el que alcanza mayor producción en condiciones convencionales, aunque no sea significativamente distinto de la línea UMH1354. En los trabajos con líneas Muchamiel de Amorós (2017) y Espuch (2015) también son los híbridos, con resistencia en heterocigosis a ToMV, TYLCV y TSWV los que obtiene mayor producción. Este resultado ha sido obtenido en varios trabajos realizados con líneas e híbridos derivados del Programa de Mejora de la EPSO, y pone de manifiesto que la introducción de genes de resistencia dominantes en heterocigosis es más interesante que en homocigosis.



4.1.2.- Peso medio de los frutos

El análisis de la varianza para el Peso medio de los frutos (Tabla 14) muestra que existen diferencias significativas para las condiciones estudiadas y para las líneas de cultivo. La interacción entre los factores también es significativa.

Tabla 14. Análisis de la varianza multifactorial (variedad y condiciones de cultivo) para la peso medio

Fuente de Variación	Suma de cuadrados	G.L.	Cuadrados medios	F	Nivel de significación
Efectos principales					
A: Condiciones	4684,31	2	2342,15	8,74	0,0003
B: Línea	5662,68	3	1887,56	7,05	0,0002
Interacciones					
AB: Condiciones – Línea	4914,84	6	819,14	3,06	0,0082
Residual	30807,5	115	267,891		
Total (corregido)	46699,1	126			

Como la interacción es significativa no se pueden utilizar los test de rango múltiple. En este caso se debe utilizar una gráfica de interacción (Figura 23).

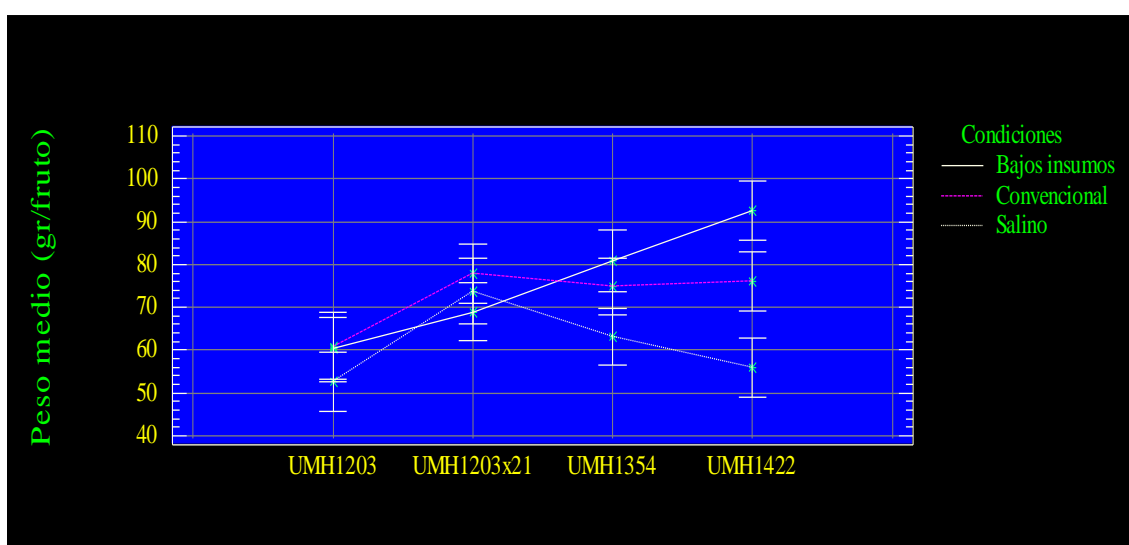


Figura 23. Gráfica de Interacción para el Peso medio para las diferentes líneas y condiciones de cultivo. Las barras corresponden al intervalo de Mínima Diferencia Significativa (LSD: Least Significance Difference) al 95% de nivel de confianza.

Debido al solapamiento entre los intervalos de las condiciones de cultivo, solo existen diferencias significativas entre el peso medio de los frutos de la línea UMH1422 en las tres condiciones, así como para la línea UMH1354 entre bajos insumos y condiciones salinas. En la línea UMH1422, el mayor peso medio lo alcanza el cultivo en bajos insumos, seguido por el convencional y en último lugar el salino. Para la línea UMH1354, el peso medio obtenido en bajos insumos es mayor que en condiciones salinas.

En el estudio con líneas Muchamiel realizado en paralelo (Amorós, 2017), sólo se encontraron diferencias entre los pesos medios de las condiciones de cultivo para la línea UMH972 (equivalente a la UMH1422), que obtuvo mayor peso medio en condiciones salinas.

En el trabajo de Espuch (2015), que estudió una colección distinta de líneas de mejora y variedades tradicionales Muchamiel en condiciones convencionales y de bajos insumos, se obtuvieron diferencias significativas en tres de las ocho líneas estudiadas, siempre a favor de bajos insumos.

Con estos resultados, no se puede afirmar el efecto de las condiciones de cultivo en el peso medio de los frutos.

4.1.3.- Número de frutos por planta

El análisis de la varianza para el Número de frutos por planta (Tabla 15) muestra que existen diferencias significativas para las condiciones estudiadas y para las líneas de cultivo. La interacción entre los factores también es significativa.

Tabla 15. Análisis de la varianza multifactorial (variedad y condiciones de cultivo) para el número de frutos por planta

Fuente de Variación	Suma de cuadrados	G.L.	Cuadrados medios	F	Nivel de significación
Efectos principales					
A: Condiciones	2304,57	2	1152,29	16,03	0,0000
B: Línea	3997,1	3	1332,37	18,53	0,0000
Interacciones					
AB: Condiciones – Línea	2566,78	6	427,797	5,95	0,0000
Residual	8266,87	115	71,8858		
Total (corregido)	17761,3	126			

Como la interacción es significativa no se pueden utilizar los test de rango múltiple. En este caso se debe utilizar una gráfica de interacción (Figura 24).

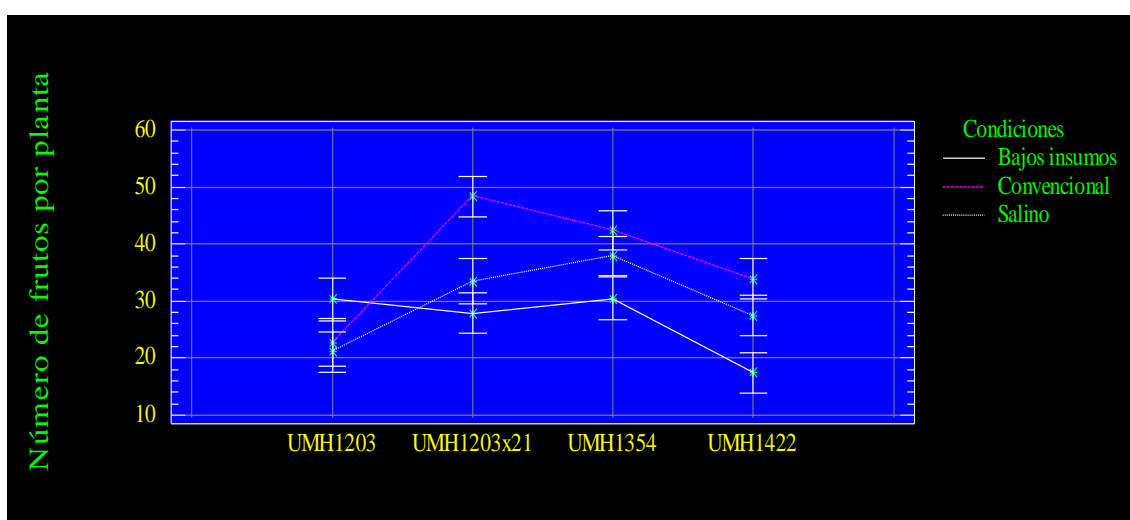


Figura 24. Gráfica de Interacción para el Número de frutos por planta para las diferentes líneas y condiciones de cultivo. Las barras corresponden al intervalo de Mínima Diferencia Significativa (LSD: Least Significance Difference) al 95% de nivel de confianza.

Para el híbrido UMH1203X21 hay una diferencia de 17 frutos por planta más entre las condiciones de cultivo convencionales y las salinas. Para la UMH1422 el número de frutos por planta es significativamente inferior en las condiciones de bajos insumos. Para la línea UMH1354 el número de frutos en condiciones convencionales es mayor que en bajos insumos. Para la línea UMH1203 el peso medio en condiciones de bajos insumos es mayor que en condiciones salinas. Esta gráfica es muy similar a la de producción total, los que nos indica que, para este ensayo, es más influyente el número de frutos que el peso medio de estos para la producción total.

En el ensayo desarrollado en paralelo con tomate Muchamiel (Amorós, 2017) las diferencias entre las condiciones de cultivo son más marcadas, de forma similar a lo que ocurría en la producción. En condiciones convencionales se alcanzaban los mayores valores, en bajos insumos los menores, y las condiciones salinas situándose en una posición intermedia.

En el trabajo de Espuch (2015), que estudió una colección distinta de líneas de mejora y variedades tradicionales Muchamiel en condiciones convencionales y de bajos insumos, el número de frutos en condiciones convencionales es superior al de bajos insumos, pero sólo en cuatro de las ocho líneas las diferencias fueron significativas.

4.2.- Caracteres de Calidad

4.2.1.- Sólidos solubles

El análisis de la varianza para la Sólidos solubles (Tabla 16) muestra que existen diferencias significativas para las condiciones estudiadas y para las líneas de cultivo. La interacción entre factores también es significativa.

Tabla 16. Análisis de la varianza multifactorial (variedad y condiciones de cultivo) para los sólidos solubles

Fuente de Variación	Suma de cuadrados	G.L.	Cuadrados medios	F	Nivel de significación
Efectos principales					
A: Condiciones	23,5219	2	11,7609	186,91	0,0000
B: Línea	2,05056	3	0,683521	10,86	0,0000
Interacciones					
AB: Condiciones – Línea	5,94302	6	0,990503	15,74	0,0000
Residual	8,17983	130	0,0629218		
Total (corregido)	39,691	141			

Como la interacción es significativa no se pueden utilizar los test de rango múltiple. En este caso se debe utilizar una gráfica de interacción (Figura 25).

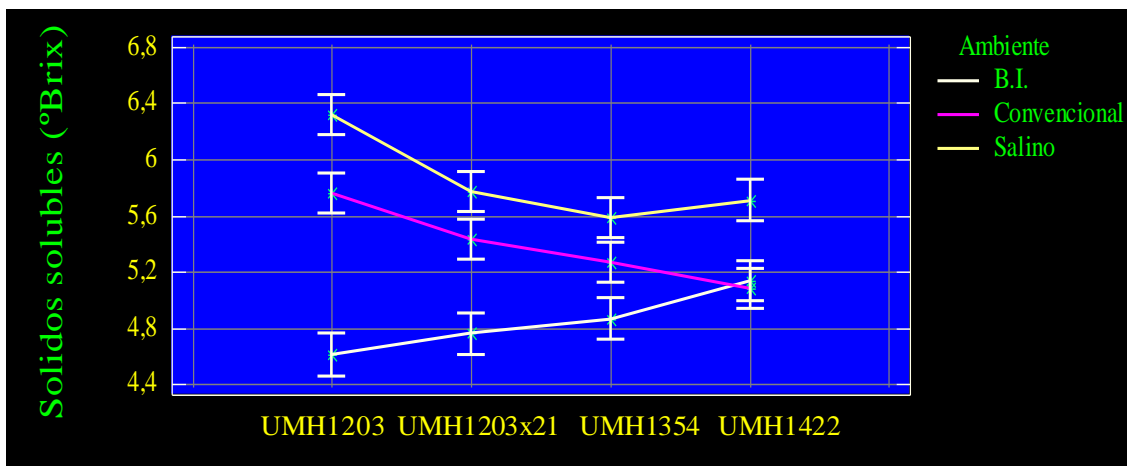


Figura 25. Gráfica de Interacción para los Sólidos solubles para las diferentes líneas y condiciones de cultivo. Las barras corresponden al intervalo de Mínima Diferencia Significativa (LSD: Least Significance Difference) al 95% de nivel de confianza.

En las cuatro líneas, el mayor contenido de sólidos solubles se obtiene en condiciones salinas, seguido por las condiciones convencionales, y por último bajos insumos. La única excepción es la línea UMH1422, para la que no hay diferencias entre las condiciones convencionales y salinas. Estos resultados son debidos a la CE de la solución de riego.

Como se observa en la gráfica, la línea UMH1203 es la que presenta una mayor cantidad de sólidos solubles tanto para las condiciones de cultivo salinas como para las convencionales; mientras que en bajos insumos son las líneas UMH1354 y UMH1422 las que alcanzan mayor valor.

En el trabajo realizado con líneas de mejora Muchamiel (Amorós, 2017), los resultados son similares, el mayor valor de sólidos solubles se obtiene en condiciones salinas, seguido del convencional y los bajos insumos. Sin embargo, mientras en este trabajo las condiciones salinas y convencionales son más próximas entre si, en el de Amorós (2017) son las condiciones de bajos insumos y convencionales las que son más homogéneas. Las líneas de tomate de la pera presentan valores ligeramente superiores a sus equivalentes de tomate Muchamiel en bajos insumos, pero inferiores en condiciones salinas y convencionales.

4.2.2.- Acidez

El análisis de la varianza para la Acidez (Tabla 17) muestra que existen diferencias significativas para las condiciones estudiadas y para las líneas de cultivo, pero no para las interacciones entre condiciones y líneas.

Tabla 17. Análisis de la varianza multifactorial (variedad y condiciones de cultivo) para la acidez

Fuente de Variación	Suma de cuadrados	G.L.	Cuadrados medios	F	Nivel de significación
Efectos principales					
A: Condiciones	0,837184	2	0,418592	133,36	0,0000
B: Línea	0,336233	3	0,112078	35,71	0,0000
Interacciones					
AB: Condiciones – Línea	0,0214191	6	0,00359684	1,14	0,3444
Residual	0,408033	130	0,00313872		
Total (corregido)	1,57203	141			

Como la interacción no es significativa, se usarán los test de rango múltiple para los dos factores, condiciones de cultivo y líneas. (Tabla 18)

Tabla 18. Test de Rango Múltiple de Newman-Keuls para la acidez para los factores; condiciones de cultivo y líneas

Factor	Niveles	Nº de valores	Media (g/100g)	Grupos homogéneos
Condiciones de cultivo	Bajos Insumos	46	0,29	a
	Convencional	48	0,41	b
	Salino	48	0,47	c
Línea	UMH 1203	34	0,34	a
	UMH 1203x21	36	0,34	a
	UMH 1422	36	0,43	b
	UMH 1354	36	0,45	b

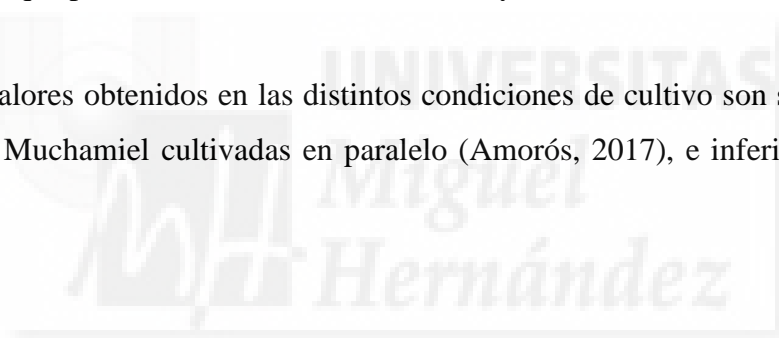
Las medias con la misma letra no difieren entre sí ($p < 0,05$).

Como cabía esperar, la media de acidez para el cultivo en bajos insumos 0,29, es muy inferior a la de las otras dos condiciones; convencional 0,41 y salino 0,47.

En cuanto a las líneas, se presentan dos grupos homogéneos, las líneas UMH1203 y UMH1203x21 que presentan una menor acidez que las líneas UMH1422 y UMH1354. Las dos líneas con menor acidez son además las resistentes al virus de la cuchara (TYLCV), lo que sugiere que la introducción de esta resistencia reduce la acidez. Este resultado fue obtenido por Rubio *et al.* (2016) tanto en tomate De la pera como Muchamiel. Este es el único carácter en el que se ha encontrado un claro efecto del genotipo, aparte de las condiciones de cultivo.

En el ensayo paralelo en Muchamiel es la UMH1200, equivalente a la UMH1203, la que presenta la menor acidez del ensayo.

Los valores obtenidos en las distintas condiciones de cultivo son similares a los de las líneas Muchamiel cultivadas en paralelo (Amorós, 2017), e inferior al de Vañó (2016).



5.- Conclusión

La producción total para el cultivo convencional es superior a las otras dos, haciendo patente que tanto el exceso de salinidad, como la deficiencia de nutrientes, afectan negativamente a la producción. No se han encontrado diferencias significativas entre las condiciones salinas y de bajos insumos, excepto en la línea UMH1203

En cuanto al peso medio, es el carácter que menos se ha visto afectado por las diferentes condiciones de cultivo.

Los resultados obtenidos para el Número de frutos por planta son muy similares a los de la producción total.

Sobre la calidad, las condiciones de cultivo salinas producen frutos con una mayor cantidad de sólidos solubles, seguido de cerca por el cultivo convencional y más alejados los bajos insumos, excepto para la línea UMH 1422.

En cuanto a la acidez, se comporta de forma similar a los sólidos solubles respecto a las distintas condiciones de cultivo. Es el primer carácter en el que se ha encontrado un efecto del genotipo, pues las líneas con resistencia a cuchara alcanzaban menor valor de acidez.

6.- Bibliografía

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

Alonso, J.D. (2010). Evaluación de líneas de mejora Muchamiel. Trabajo Fin de Carrera, Ingeniero Agrónomo. UMH.

Burguet, R. (2012). Caracterización de líneas de mejora de tomate cultivadas al aire libre para su inscripción en el Registro de Variedades Comerciales. Trabajo Fin de Carrera, Ingeniero Técnico Agrícola. UMH.

Child, A. (1990). A Synopsis of *Solanum* Subgenus *Potatoe* (G. Don) D'Arcy (*Tuberarium* (Dum.) Bitter (s.l.). Feddes Report 101:209-235.

Coleman, W.K. (1976); Greyson, R.I. (1976) The growth and development of the leaf in tomato II. Leafontogeny. Can. J. Bot. 54: 2421-2428.

Cubero, J.I. (2003). Introducción a la Mejora Genética Vegetal. Mundi Prensa, Madrid: 473-515.

Del Espino, C. (2012). Selección de líneas de mejora de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) para agricultura ecológica. Trabajo Fin de Máster, Máster en Agroecología, desarrollo Rural y Agroturismo. UMH.

Espuch, C.G. (2015). Evaluación de líneas de mejora de tomate (*Solanum lycopersicum* L) Muchamiel en distintas condiciones de cultivo. Trabajo Fin de Carrera. Universidad Miguel Hernández.

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

ESYRCE. <http://www.mapama.gob.es>

FAO. <http://www.fao.org/statistics/es/>

Folquer, F. (1976). 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., Sánchez, C., Castelló, J., Grau, A., Valero, M., Ferrández, A., y Ruiz, J.J. (2003). Empleo de marcadores moleculares para la introducción múltiple de genes de resistencia a virosis (ToMV, TSWV y TYLCV) en variedades tradicionales de tomate alicantinas. *Agrícola Vergel* 255, 140-143.

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.

Jenkins, J.A. (1948). The origin of the cultivated tomato. *Econ. Bot* 2: 379-392

Maroto, J.V. (1994). Horticultura herbácea especial. Cuarta edición. Madrid, Mundi-Prensa. 611 p.

Montes, S.; Aguirre, J.R. (1992). Tomate de cascara. En "Hernández, J.E.; León, J. (Eds). Cultivos Marginados. Otra perspectiva de 1492. FAO, Roma": 115-120.

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.

Olmo, A. (2011). Evaluación de líneas de mejora de tomate De la pera cultivadas en la EPSO al aire libre en el ciclo de primavera del año 2010. Trabajo Fin de Carrera, Ingeniero Técnico Agrícola. UMH.

Olmstead, R.G. y Bohs, L. (2007). A summary of molecular systematic research in Solanaceae: 1982–2006. Pp. 255–268. In: Spooner, D.M., Bohs, L., Jiovannoni, J., Olmstead, R.G. & Shibata, D. (eds.), Solanaceae VI: Genomics Meets Biodiversity. Proceedings of the Sixth International Solan-aceae Conference. Acta Horticulturae 745. International Society for Horticultural Science, Leuven.

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

Picken, A.J.F. (1986). Germination and vegetative development. In: Atherton J, G.; Rudich, J. (Eds.). The tomato crop. Chapman and Hall Ltd. New York, EUA. 111-165 p

Rick, C. M. (1958). The role of natural hybridisation in the derivation of cultivated tomatoes of western South America. Econ. Bot. 12: 346-367.

Rick, C.M. (1976) Tomato. In “Simmonds, N.W. (Ed.) Evolution of crop plants. Longman, London and New York”

Rick, C.M. (1978) El tomate. Investigación y Ciencia nº25

Fernando Rubio, Aranzazu Alonso, Santiago García-Martínez, Juan J. Ruiz, (2016). Introgression of virus-resistance genes into traditional Spanish tomato cultivars (L.): Effects on yield and quality, Scientia Horticulturae, Volume 198, 2016, Pages 183-190,

Ruiz, M. (2013). Caracterización de líneas de tomate Muchamiel, De la Pera, Cherry y Pera morunos cultivadas en un invernadero de malla en el ciclo de primavera-verano 2012. Trabajo Fin de Carrera, Ingeniero Agrónomo. UMH.;

Serna, J. (2011). Caracterización de líneas de mejora de tomate para su inscripción en el Registro de Variedades Comerciales. Trabajo Fin de Carrera, Ingeniero Técnico Agrícola. UMH.

Valadez, L. A. (1998). Producción de hortalizas (1ra. Ed), Limusa. México.

Varga A, Bruinsma J. (1986). Tomato. In: CRC Handbook of Fruit Set and Development, Monselise SP (ed). Boca Raton FL. CRC Press, pp. 461-480.

