

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
MÁSTER INTERUNIVERSITARIO EN MEJORA GENÉTICA VEGETAL
TRABAJO FIN DE MÁSTER



Instituto de Conservación y Mejora
de la Agrodiversidad Valenciana

EFFECTO DE LA FERTILIZACIÓN DE NITRÓGENO SOBRE LOS PARAMETROS DE
CALIDAD DEL FRUTO DE TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.) DE UNA
COLECCIÓN DE ENTRADAS DE VARIEDADES LOCALES DE TOMATE 'DE
PENJAR'

Autor: Luis Enríque Alvarado Portillo

Director: Salvador Soler Aleixandre

Director experimental: Elena Rosa Martínez

VALÈNCIA, SEPTIEMBRE DE 2020



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Instituto de Conservación y Mejora
de la Agrobiodiversidad Valenciana

El Doctor D. Salvador Soler Aleixandre profesor del Máster Oficial Interuniversitario en Mejora Genética Vegetal, en calidad de director del Trabajo de Fin de Máster, por la Presente,

RECONOCE

Que el Trabajo Fin de Máster realizado por el alumno D. Luis Enríque Alvarado Portillo, con el título: “EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN DE NITRÓGENO SOBRE LOS PARAMETROS DE CALIDAD DEL FRUTO DE TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.) DE UNA COLECCIÓN DE ENTRADAS DE VARIEDADES LOCALES DE TOMATE ‘DE PENJAR’ y realizado bajo mi dirección, reúne las condiciones necesarias para completar la formación del alumno y por tanto,

AUTORIZA

La presentación del citado Trabajo Final de Máster para su defensa ante el correspondiente Tribunal.

Y para que así conste a los efectos oportunos así lo firma,

SALVADOR|
SOLER|
ALEIXANDRE

Firmado digitalmente por
SALVADOR|SOLER|
ALEIXANDRE
Fecha: 2020.09.14 12:35:23
+02'00'

Fdo: Salvador Soler Aleixandre

Máster Oficial en Mejora Genética Vegetal

Valencia, 14 de septiembre de 2020

AGRADECIMIENTOS

A Dios por ser el centro de mi vida, iluminar mí camino y darme la sabiduría para alcanzar una de mis metas.

A mis padres Luis Enrique Alvarado Contreras, Gilma Lisbeth Portillo Pedroza y hermano Sergio Enrique por su amor incondicional y su constante apoyo en cualquier momento.

A Salvador Soler por brindarme la oportunidad de trabajar en este proyecto y su constante colaboración.

A Elena Rosa por toda la ayuda brindada y motivación desde el principio del proyecto, muchas gracias.

A Monica Rosales por su apoyo constante y aprecio que siempre me ha brindado en este y muchos proyectos.

A Resu Burguet por su amabilidad y colaboración en este documento y en el laboratorio.

A mis compañeros con aprecio hacia todos, por los buenos momentos que compartimos.

EFFECTO DE LA FERTILIZACIÓN DE NITRÓGENO SOBRE LOS PARAMETROS DE CALIDAD DEL FRUTO DE TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.) DE UNA COLECCIÓN DE ENTRADAS DE VARIEDADES LOCALES DE TOMATE 'DE PENJAR'

ABSTRACT

Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) is one of the most important crops on Earth. Currently, the increase in the use of commercial varieties has caused a worldwide decrease in the use of landraces, that has caused the loss of many important plant genetic resources. Moreover, conventional agriculture has caused excessive application of fertilizers, generating pollution in water sources due to the effect of nitrates and eutrophication. For these reasons there is a need to resume the use of traditional varieties and the implementation of different agronomic practices.

The present master's final project sought to evaluate the effect of low nitrogen under organic cultivation conditions on the quality parameters of the fruit and on the yields of landraces of tomato '*De Penjar*' type. This project has included the evaluation of 39 landraces from Grup de Conservació i Millora de Varietats Tradicionals Valencianes and the germplasm bank Institut Universitari de Conservació y Millora de l' Agrodiversitat Valenciana (COMAV) and five controls. The quality parameters evaluated were content of sugars, organic acids, carotenoids, total antioxidants, vitamin C, Brix degrees and pH.

The results obtained showed differences between the varieties for all the quality parameters evaluated. The effect of high nitrogen treatment has shown more significance on the content of carbohydrates and antioxidants than the low nitrogen treatment. Finally, when comparing the traditional varieties with the commercial controls, these have presented significantly higher values for different important characters involved in the perception of flavor and higher content in nutritional characters. Demonstrating a greater adaptation of the evaluated varieties of the '*De Penjar*' type to be cultivated under conditions of low nitrogen, without modifying their quality parameters and obtaining better results compared to the controls used.

RESUMEN

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es uno de los cultivos más importantes a nivel mundial. Actualmente, el incremento del uso de variedades comerciales ha generado una disminución a nivel mundial en el uso de variedades tradicionales. Esto ha causado la pérdida de muchos recursos fitogenéticos importantes. Por otra parte, la agricultura convencional ha provocado la aplicación excesiva de fertilizantes, generando contaminación en fuentes de agua por efecto de los nitratos y la eutrofización. Todo esto plantea la necesidad de retomar el uso de variedades tradicionales y la puesta en práctica de diferentes prácticas agronómicas.

En el presente trabajo final de máster se buscó evaluar el efecto de la reducción de nitrógeno bajo condiciones de cultivo ecológico sobre los parámetros de calidad del fruto y sobre los rendimientos de variedades tradicionales de tomate de tipo '*De penjar*'. Para ello se evaluaron 39 variedades locales procedentes del Grup de Conservació i Millora de Varietats Tradicionals Valecianes y del banco de germoplasma del Institut Universitari de Conservació y Millora de l' Agrodiversitat Valenciana (COMAV) y cinco controles. Para esto se determinó el contenido de azúcares, ácidos orgánicos, carotenoides, antioxidantes totales, vitamina C, grados Brix y pH en muestras de tomate.

Los resultados obtenidos han revelado que todas las variedades presentaban diferencias para el contenido en todos los parámetros de calidad, mostrando una amplia variabilidad entre entradas. El efecto del nitrógeno sobre los parámetros de calidad ha mostrado ser significativo sobre el contenido en carbohidratos y antioxidantes, siendo menores en el tratamiento de bajo nitrógeno. Por último, al compararse las variedades tradicionales con los controles comerciales, estas han presentaron valores significativamente más elevados para diferentes caracteres importantes en la percepción del sabor y mayor contenido en caracteres nutricionales. Demostrando una mayor capacidad de las variedades evaluadas del tipo '*De Penjar*' de ser cultivadas bajo condiciones de menor nitrógeno, sin llegar a ser afectadas en sus parámetros de calidad y siendo superiores a la de los controles utilizados.

Key words: *Solanum lycopersicum*, tomato, landraces, *De Penjar*, de colgar, quality parameters.

Palabras clave: *Solanum lycopersicum*, tomate, variedades tradicionales, *De Penjar*, de colgar, parámetros de calidad.

Autor: Luis Enríque Alvarado Portillo.

Director: Salvador Soler Aleixandre

Director experimental: Elena Rosa Martínez

València, septiembre de 2020.

ÍNDICE GENERAL

Contenido

1.-INTRODUCCIÓN	1
1.1.-ORIGEN Y DOMESTICACION DEL CULTIVO DEL TOMATE.....	1
1.2.-TAXONOMÍA Y BOTÁNICA DEL CULTIVO DEL TOMATE	3
1.3.-IMPORTANCIA ECONÓMICA DEL CULTIVO DEL TOMATE	5
1.3.1.-Importancia económica.....	5
1.3.2.- Importancia económica en España	6
1.3.3.- Importancia económica en la Comunitat Valenciana	8
1.4.- IMPORTANCIA DE LAS VARIEDADES TRADICIONALES EN LA AGRICULTURA ACTUAL .	10
1.4.1.- Variedades tradicionales	10
1.4.2.- Variedades tradicionales en España	11
1.4.3.- Variedades tradicionales en València	13
1.4.4.- El tomate ' <i>De Penjar</i> '	14
1.5.- CALIDAD EN LAS VARIEDADES TRADICIONALES	16
1.6.- EFECTO DEL NITRÓGENO EN LOS RENDIMIENTOS Y CALIDAD DEL TOMATE	20
2.-OBJETIVOS	21
3.-MATERIALES Y MÉTODOS.....	22
3.1.- MATERIAL VEGETAL	22
3.2.- CONDICIONES DEL CULTIVO	23
3.3.- PROCESADO DE LAS MUESTRAS	25
3.3.1.- Obtención de zumo	25
3.3.2.- Obtención de muestra liofilizada	26
3.4.- PARÁMETROS DE CALIDAD EVALUADOS.....	26
3.4.1.- Contenido en glucosa y fructosa.....	27
3.4.2.- Contenido en ácidos orgánicos.....	28
3.4.3.- Contenido en carotenoides	30
3.4.4.- Contenido en antioxidantes totales.....	31
3.4.5.- Contenido en vitamina C	33

3.4.6.- Solidos solubles °Grados Brix.....	34
3.4.7.- Acidez	35
3.5.- DETERMINACIÓN DE RENDIMIENTOS.....	36
3.6.- ANÁLIS ESTADÍSTICO	36
4.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	37
5.- CONCLUSIONES.....	52
BIBLIOGRAFÍA	54
ANEXOS	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diferentes partes de la planta del tomate. Derecha: planta entutorada en etapa de cuajado de fruto. Izquierda: flor de tomate y frutos en etapa de maduración. (Fuente: Laboratorio Solanáceas COMAV, 2019).....	3
Figura 2: Evolución de la producción de tomate en fresco a nivel mundial del año 2010 al año 2018. (Fuente: FAO, 2020).....	5
Figura 3: Tomates colgados del tipo ‘De Penjar’ de Alcalà de Xivert. (Fuente: Asociación “Tomata de penjar”, 2018).....	15
Figura 4: Liofilizador piloto VirTis Genesis 35L (Fuente: SP SCIENTIFIC).....	26
Figura 5: Recta de calibrado para fructosa.....	28
Figura 6: Recta de calibrado para glucosa.....	28
Figura 7: Recta de calibrado para ácido cítrico.....	29
Figura 8: Recta de calibrado para ácido málico.....	30
Figura 9: Recta de calibrado para patrón de TROLOX.....	32
Figura 10: Recta de calibrado para ácido ascórbico.....	34
Figura 11: Refractómetro digital HI 96801 (Fuente: HANNA Instruments).....	35
Figura 12: pHmetro CRISON PH-Matic 23 (Fuente: CRISON Instruments).....	35
Figura 13: Análisis de componentes principales de las entradas para los caracteres de calidad y producción para ambos tratamientos.....	48
Figura 14: Grafica de pesos de caracteres.....	49

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Principales países productores en el año 2018 posicionados en orden descendente por su producción en toneladas.....	6
Tabla 2: Datos de la superficie, rendimiento y producción de tomate en España, en las diferentes Comunitates autónomas, en el año 2019, posicionados en orden descendente por su producción.....	7
Tabla 3: Superficie, rendimiento y producción de tomate en las provincias de la Comunitat Valenciana, en el año 2019.....	8
Tabla 4. Precios en sistema de producción ecológica, a fecha del 14 de enero de 2019.....	9
Tabla 5: Tipos varietales tradicionales de tomate en las Comunitates Autónomas españolas.	12
Tabla 6: Composición del fruto de tomate maduro.....	18
Tabla 7: Listado de las variedades locales y controles empleados, descritos por su tipo de variedad y origen.....	22
Tabla 8: Resultados de diferentes parámetros del muestreo de suelo.....	24
Tabla 9: Medias generales, error estándar, coeficiente de variación y rango de los caracteres de calidad de fruto y producción para ambos tratamientos de nitrógeno.....	40
Tabla 10: ANOVAs y valores heredabilidades de los caracteres de calidad para el tratamiento de bajo nitrógeno, nitrógeno normal y ambos tratamientos.....	41
Tabla 11: Correlaciones de Pearson correspondiente a los caracteres de calidad y producción en el tratamiento de bajo nitrógeno y de nitrógeno normal.....	44
Tabla 12: Comparación de medias para todos los caracteres entre los controles y las variedades tradicionales.....	46
Tabla 13: Ranking descendente de las diferentes entradas tomando como base las diez entradas más productivas. Cada valor por carácter corresponde a la posición de la entrada entre el total (44).....	51

1.- INTRODUCCIÓN

1.1.- ORIGEN Y DOMESTICACION DEL CULTIVO DEL TOMATE

La localización del centro de origen del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) ha sido discutida por mucho tiempo. Así, se han postulado dos posibles centros de origen para el cultivo, ambos en América. En la primera hipótesis se postulaba que el centro de origen se encontraba en la región andina de América, formando parte Colombia, Bolivia, Ecuador, Perú y el norte de Chile. La evidencia que se presentaba para esta hipótesis estaba en los primeros nombres dados al cultivo en Europa, '*Mala peruviana*' y '*Pomi del Perú*' los cuales indican un origen peruano. Además, se mencionaba el hecho de que los parientes silvestres del cultivo se extendían en dicha región (Jenkins, 1948). Por otro lado, la segunda hipótesis señalaba que el cultivo era originario de la región mesoamericana, concretamente el sur de México y parte de Centroamérica, ya que en la región andina no se encontraban restos arqueológicos del cultivo. Además, de que en la lengua náhuatl de México se conocía al cultivo como '*tomatl*', siendo posiblemente el origen del nombre moderno del tomate (Rick, 1978).

Actualmente, la hipótesis más aceptada es la que considera que la región nor-occidental del sur de América es el posible centro de origen del tomate cultivado, apoyándose en el hecho que en dicha zona existen 13 especies silvestres emparentadas con el tomate cultivado (Peralta *et al.*, 2006).

Aunque aún se discute sobre el centro de domesticación del tomate, se menciona que existió una fase de predomesticación en la región andina, y una segunda domesticación en Mesoamérica. Un estudio de las variantes de enzimas hereditarias muestra una mayor similitud de los tomates tipo cherry de México y América Central con cultivares antiguos europeos, que con las plantas de la región andina (Rick, 1978). Los resultados obtenidos por genotipado con SNPs ("Single Nucleotide Polymorphism") en entradas de *Solanum pimpinellifolium*, *S. lycopersicum* var. *cerasiforme* y *S. lycopersicum* también se ajustan a esta hipótesis (Blanca *et al.*, 2012).

En cuanto al ancestro del cultivo, diferentes estudios señalan a la especie *Solanum pimpinellifolium* como el ancestro del tomate cultivado. Anteriormente se consideraba que el tomate fue domesticado a partir del tomate de tipo cherry (*Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*). Sin embargo, se ha determinado que en realidad el tomate de tipo cherry surgió de la hibridación entre *S. lycopersicum* y *S. pimpinellifolium*, posiblemente no formando parte de la transición del tomate como especie silvestre a especie cultivada (Nesbitt y Tanksley, 2002; Blanca *et al.*, 2012).

1.2.- TAXONOMÍA Y BOTÁNICA DEL CULTIVO DEL TOMATE

El tomate actualmente está clasificado como una planta perteneciente a la clase *Magnoliopsida*, orden *Solanales*, familia de las *Solanaceas*, género *Solanum*, especie *lycopersicum* (Peralta y Spooner, 2000). Es una planta herbácea, con variedades determinadas, indeterminadas y semideterminadas. Se cultiva de forma anual, aunque las plantas indeterminadas podrían presentar ciclo más longevo de vida. Su porte puede ser arbustivo, rastrero, semierecto o erecto. Es una planta principalmente autógama, aunque existen cultivares antiguos con un alto grado de alogamia en los cuales los estilos sobresalen de la flor permitiendo la polinización cruzada (León, 1987; Larín *et al.*, 2019).



Figura 1: Diferentes partes de la planta del tomate. Derecha: planta entutorada en etapa de cuajado de fruto. Izquierda: flor de tomate y frutos en etapa de maduración. (Fuente: Conservació i Millora de Varietats Tradicionals Valèncianes, COMAV, 2019).

El sistema radicular consta de una raíz principal con raíces secundarias fibrosas que en conjunto pueden llegar a formar un radio de hasta 1,5 m. El tallo es herbáceo y al observarse en un corte transversal este puede ser circular, con ángulos o esquinas. Presenta tricomas en la epidermis. El tamaño y número de estas pueden variar entre diferentes variedades (León 1987).

Las hojas son compuestas, imparipinnadas, presentan en la lámina 12 segmentos o foliolos de diferente tamaño, el margen puede ser dentado o liso y puede presentar tricomas glandulares (León, 1987; Larín *et al.*, 2019).

La flor presenta una estructura perfecta en las que sus sépalos, pétalos y estambres se insertan en la base del ovario. El número de sépalos y pétalos pueden ser de cinco o más en el cáliz y la corola respectivamente, también puede presentar de cinco a seis estambres alternándose con los pétalos, estos presentan una coloración amarilla y se encuentran soldados formando el denominado cono de anteras. Las flores se agrupan en inflorescencia de tipo racimo. El fruto es una baya que puede ser bi o plurilocular, presentando diferentes formas que van desde aplanadas, esféricas, globosas hasta formas alargadas. Los pesos también varían oscilando entre unos pocos gramos hasta alcanzar en algunas variedades más de 1.000 gramos (López, 2016).

1.3.- IMPORTANCIA ECONÓMICA DEL CULTIVO DEL TOMATE

1.3.1.- Importancia económica

El tomate es considerado una de las hortalizas más difundidas en el mundo, presenta además un elevado valor económico. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), la superficie cultivada de tomate a nivel mundial en el año 2018 fue de 4.762.459 hectáreas. El mismo año la producción de tomate fue de 182.364.579 toneladas (Figura 2).

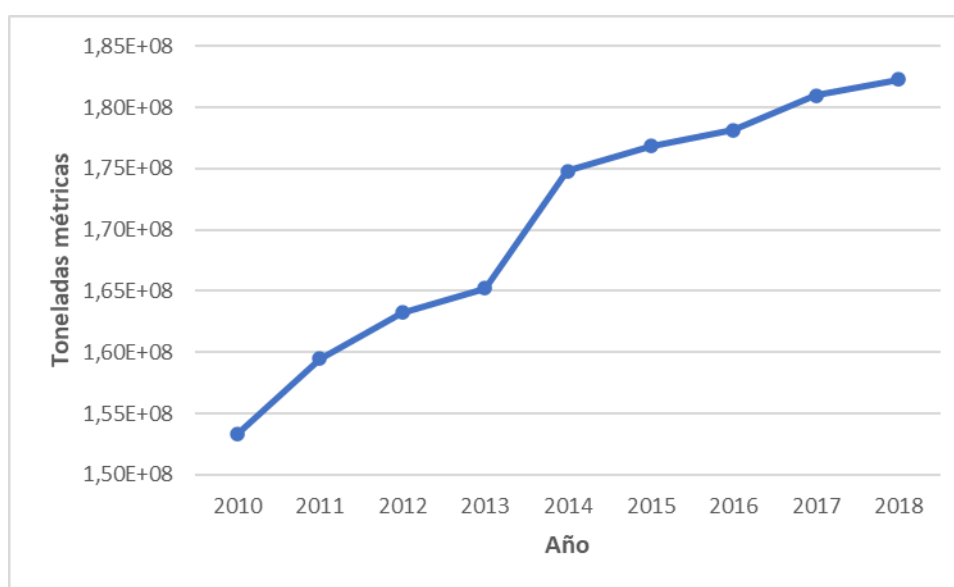


Figura 2: Evolución de la producción de tomate en fresco a nivel mundial del año 2010 al año 2018. (Fuente: FAO, 2020).

En la gráfica (Figura 2) puede observarse como la producción de tomate a nivel mundial muestra una tendencia al alza. Este aumento va de la mano de cada vez un mayor consumo de tomate. Del año 2010 al 2018 se presenta un incremento de casi 30 millones de toneladas (FAO, 2020). El aumento en la producción está relacionado con la combinación de mejores métodos agronómicos y utilización de variedades mejoradas.

1.3.2.- Importancia económica en España

Actualmente, España es uno de los principales productores de tomate a nivel mundial. Al analizar los datos de los países por cantidad de producción en toneladas (Tabla 1), en primer lugar, se posiciona China con la mayor producción y superficie (61.631.581 toneladas y 1.035.709 hectáreas); le siguen la India y Estados Unidos de América, siendo estos tres los principales países productores a nivel mundial de tomate.

Tabla 1: Principales países productores en el año 2018 posicionados en orden descendente por su producción en toneladas.

Puesto	País	Producción (Toneladas)	Área (Hectáreas)
1	China	61.631.581	1.035.709
2	India	19.377.000	786.000
3	Estados Unidos de América	12.612.139	130.280
4	Turquía	12.150.000	176.430
5	Egipto	6.624.733	161.702
6	Irán	6.577.109	158.991
7	Italia	5.798.103	97.092
8	España	4.768.595	56.128
9	México	4.559.375	90.323
10	Brasil	4.110.242	57.134

Fuente: FAOSTAT, 2020.

En cuanto a países pertenecientes a la Unión Europea, se encuentra Italia en la posición siete, con 5.798.103 toneladas y 97.092 hectáreas; y España en la posición ocho, con 4.768.595 toneladas y 56.128 hectáreas. Esto manifiesta la importancia económica del cultivo para ambos países europeos (Tabla 1).

La mayor parte de la exportación del cultivo producido por España está destinado a países de la Unión Europea. Los principales países a los que se les exportó tomate entre el año 2017 hasta marzo del 2020 fueron por orden de volumen: Alemania, Reino Unido, Países Bajos, Francia y Polonia según los datos publicados por el servicio estadístico Estacon (Icex-Agencia Tributaria) en 2020.

Según los datos publicados por el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPAMA), la producción de tomate en España en el año 2019 fue de 5.000.559 toneladas con una superficie de 56.937 hectáreas. Comparándolo con los datos publicados por la FAO, en ambos casos hubo un incremento para el año 2018.

Tabla 2: Datos de la superficie, rendimiento y producción de tomate en España, en las diferentes Comunidades autónomas, en el año 2019, posicionados en orden descendente por su producción.

Análisis provincial, rendimiento y producción, 2019								
Comunidades Autónomas	Superficie (hectáreas)				Rendimiento (kg/ha)			Producción (toneladas)
	Secano	Regadío		Total	Secano	Regadío		
		Aire libre	Protegido			Aire libre	Protegido	
Extremadura	–	23.368	24	23.392	–	94.928	231.250	2.223.826
Andalucía	61	9.033	13.366	22.460	1.066	79.220	91.173	1.934.274
R. De Murcia	–	112	2.316	2.428	–	36.818	106.527	250.839
Navarra	–	1.953	42	1.995	–	73.203	89.990	146.745
Galicia	–	210	827	1.037	–	65.008	89.282	87.488
Canarias	3	73	613	689	24.660	42.684	117.159	75.008
Castilla-La Mancha	42	883	31	956	4.181	77.883	157.597	73.832
C. Valenciana	16	714	409	1.139	6.888	38.653	112.327	73.650
Aragón	2	575	5	582	18.125	84.344	145.000	49.259
Cataluña	38	887	156	1.081	6.624	30.857	104.941	43.992
La Rioja	–	173	20	193	–	69.000	105.000	14.037
Baleares	–	362	38	400	–	22.000	39.570	9.468
País Vasco	77	137	75	289	8.390	19.099	48.213	6.879
P. De Asturias	61	35	44	140	15.000	30.000	45.000	3.945
Castilla y León	–	51	21	72	–	33.170	67.082	3.101
Madrid	8	53	3	64	20.000	44.800	119.185	2.892
Cantabria	–	–	20	20	–	–	66.222	1.324
ESPAÑA	308	38.619	18.010	56.937	7.902	85.388	94.421	5.000.559

Fuente: MAPAMA, 2020.

Los datos de superficie, rendimiento y producción de las diferentes Comunidades Autónomas en España (Tabla 2), nos muestra que el 83,15% de la producción total del país es producido por Extremadura y Andalucía, con un aporte del 44,47 y 36,68% respectivamente. De igual manera ambas Comunidades presentan la mayor superficie del

cultivo con un 41,08% por parte de Extremadura y un 39,45% por parte de Andalucía, sumando un total de 80,53% de la superficie total del cultivo en el país.

1.3.3.- Importancia económica en la Comunitat Valenciana

La producción de tomate alcanzada en la Comunidad Valenciana en el año 2019 fue de 73.650 toneladas métricas (Tabla 3), siendo Alacant la provincia con mayor producción (49.375 toneladas), seguido por Castelló (16.298 toneladas) y por último la provincia de València (7.977 toneladas). La superficie del cultivo total en la Comunitat Valenciana es de 1.139 hectáreas, siendo Castellón la que cuenta con una mayor superficie del cultivo siendo esta de 510 hectáreas, seguida por Alicante con 455 ha y, por último, València con 174 ha. A pesar de tener la mayor superficie de cultivo, la provincia de Castelló no es la que cuenta con la mayor producción. Esto es debido a que su producción principalmente se centra en los cultivos al aire libre y en secano, presentando estos menores rendimientos en comparación al cultivo protegido.

Tabla 3: Superficie, rendimiento y producción de tomate en las provincias de la Comunitat Valenciana, en el año 2019.

Análisis en las provincias de la Comunitat Valenciana, rendimiento y producción, 2019								
Provincias	Superficie (hectáreas)				Rendimiento (kg/ha)			Producción (toneladas)
	Secano	Regadío		Total	Secano	Regadío		
		Aire libre	Protegido			Aire libre	Protegido	
Alicant	–	125	330	455	–	65.000	125.000	49.375
Castelló	16	475	19	510	6.888	31.944	53.408	16.298
València	–	114	60	174	–	37.719	61.283	7.977
C. VALENCIANA	16	714	409	1.139	6.888	38.653	112.327	73.650

Fuente: MAPAMA, 2020.

Debe tomarse en cuenta que existen diferencias en los precios de los diferentes tipos y variedades. Los tomates de tipo Cherry por ejemplo, presentan máximos en precios de 125 euros por 100 kilogramos bajo producción convencional. Las variedades de tipo tradicional como los tomates de tipo ‘De Penjar’ y ‘Corazón de buey’ presentan precios más elevados, teniendo máximos de 175 y 109 euros por 100 kilogramos respectivamente, bajo el mismo sistema productivo (Tabla 4).

Las variedades tradicionales son, por lo tanto, una oportunidad que puede permitir un incremento en las ganancias de los productores. A pesar de que la Comunitat Valenciana cuenta con una menor superficie y producción de tomate en comparación con otras Comunidades Autónomas, esta presenta la ventaja de tener una amplia variabilidad en tipos tradicionales de tomate, entre ellas variedades tradicionales del tipo ‘De Penjar’. Cabe resaltar, que en cualquier caso la producción bajo condiciones ecológicas incrementa el precio del tomate.

Tabla 4. Precios en sistema de producción ecológica, a fecha del 14 de enero de 2019.

Tipos, variedades, aprovechamientos	Precios €/100 kg			
	Producciones tradicionales		Producciones ecológicas	
	Mínimos	Máximos	Mínimos	Máximos
‘Raff’ y similares.	120	190	122	228
‘Rosa’, ‘Corazón de buey’, ‘Muchamiel’ y similares.	120	190	144	228
Cherry y similares.	90	125	108	150
‘Rama’.	40	65	48	78
Calidad Eusko Label del País Vasco y calidad controlada de Cantabria.	100	190	120	228
Calidad Eusko Baserri.	60	85	72	102
‘Ramellet’ en Illes Balears, Cataluña y Tomate ‘De Penjar’ en Comunitat Valenciana.	110	175	132	210
Resto variedades	30	50	36	60

Fuente: BOE, 2018.

1.4.- IMPORTANCIA DE LAS VARIEDADES TRADICIONALES EN LA AGRICULTURA ACTUAL

1.4.1.- Variedades tradicionales

Se puede decir que una variedad tradicional es una población de una planta cultivada, que tiene un origen histórico junto a las localidades dónde ha sido cultivada. Estas variedades presentan como mínimo una característica que las diferencia de las demás. De forma general, son genéticamente diversas en comparación con los cultivos modernos, son heterogéneas y muy adaptadas a su localidad o zona de origen. Están también asociadas con prácticas de manejo agronómico en base a la experiencia y conocimientos de los agricultores (Azeez *et al.*, 2018).

Desde la introducción del tomate a Europa en el siglo XVI, el cultivo pasó por una etapa de diversificación. Esta diversificación fue consecuencia de su amplia distribución en diferentes zonas del mediterráneo, mutaciones espontáneas y diferentes características que en cada región fueron seleccionadas por los agricultores. Se puede mencionar, como ejemplo, que una posible razón para el aumento en variación para la forma y el color del fruto tuvo relación con que el tomate se introdujo en Europa como planta ornamental (Conesa *et al.*, 2020).

A mediados del siglo XX ocurrió la revolución verde, la cual provocó grandes cambios en la agricultura. Se pasó de una producción agrícola más orgánica a una agricultura intensiva y más tecnificada. Durante dicha etapa los cultivos tradicionales fueron desplazados por nuevas variedades mejoradas e híbridos los cuales, en general, presentan características más homogéneas y mayores rendimientos. El uso de las nuevas variedades e híbridos mejorados fue generando una disminución en la diversidad de los cultivos. No solo ha disminuido el número de especies producidas, sino que entre las especies aún cultivadas existe una erosión genética al producirse cada vez un número más restringido de variedades (Maestre *et al.*, 2008). En consecuencia, se ha generado un sistema agrícola más vulnerable a los cambios climáticos y a la entrada de nuevas plagas o enfermedades. Por otra parte, aunque se consiguieron notables avances en los rendimientos y en resistencias a

enfermedades, para otros atributos como la calidad organoléptica y nutricional parece que se ha tendido a disminuir su valor (Casals, 2012).

Actualmente se busca el mantenimiento de la diversidad de los cultivos y, por lo tanto, el mantenimiento de las variedades tradicionales a través de su conservación en los bancos de germoplasma, ya que en primer lugar las variedades locales de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) han proporcionado los antecedentes genéticos para el mejoramiento y obtención de nuevas variedades mejoradas (Figàs *et al.*, 2015). Además, las variedades tradicionales, al haber sido en muchos casos cultivadas sin condiciones de riego, presentan tolerancia a sequía que puede ser útil en la mejora de nuevas variedades, son útiles también en la búsqueda de resistencias a enfermedades por su adaptabilidad a la zona en las que han sido cultivadas.

1.4.2.- Variedades tradicionales en España

España fue el país por el cual se introdujo el cultivo del tomate al continente europeo, lo que generó que se produjera una considerable diversidad en el cultivo con los años. Así, actualmente, se considera a España como un centro secundario de domesticación del cultivo (Cortés, 2015). Esto se refleja en una amplia gama de variedades tradicionales con frutos de diferentes colores (rojo, naranja, amarillo, rosa), formas (de corazón, aplanados, redondos, alargados y cilíndricos) y tamaños (Cebolla-Cornejo *et al.*, 2013). También, se refleja por su adaptación a diferentes condiciones edafoclimáticas, reflejada en su amplia distribución en el país. De hecho, diversas caracterizaciones en colecciones de germoplasmas de variedades tradicionales de tomate reportan un total de 83 variedades distribuidas en el país (Lara, 2017).

Tabla 5: Tipos varietales tradicionales de tomate en las distintas Comunidades Autónomas españolas.

Comunitat Autònoma	Tipo Varietal	Número de tipos varietal
Andalucía	Caqui, Colgar, Conserva, Corazón de toro, Huevo de toro, Muchamiel, Pimiento, Roteño.	8
Aragón	Conserva, Morado, Rosa de Barbastro, Zaragozano.	4
Asturias	Cherry asturiano, De la vega de Calamocha	2
Baleares	De Ramellet, Banyalbufar, Tres Cantos, De Pruna.	4
Canarias	Cagón, Canario, Conserva, Huevo de Gallo, Manzana negra, Moscatel, Perita, Martina, De Caña Morada.	9
Cantabria	Tomate liso redondo, Tomate acostillado, Tomate grande, Tomate rosa.	4
Castilla-La Mancha	Conserva, Moruno, Pimiento.	3
Castilla-León	Amarillo, Conserva.	2
Cataluña	Bombilla, Colgar, Conserva, Esquena verd, Monserrat, Palosanto, Pare Benet, Poma, Pometa, Tres Caires.	10
Extremadura	Colgar, Pera.	2
Galicia	Avoa, Amarante, Apementado, Convento, Corazón de Miño, Negro, Monforte, De Corno	8
Rioja	Acorazonado.	1
Madrid	Gordo, Picudo, Pera, Morado, Moruno.	4
Murcia	Conserva, Baladre, Huevo de paloma, Muchamiel, Pera, Pimiento.	6
Navarra	Corazón de Fitero, Cuarenteno, Kilo, Morado.	4
País Vasco	Borratxo de Aretxabaleta, Mokoluçe, Pera.	3
València	Amarillo, Colgar, Conserva, Cuarenteno, Baladre, Mutxamel, Pruna, Pimentó, Valenciano	9

Fuente: Lara, 2017.

Analizando los datos del número de tipos varietales por Comunidades Autónomas (Tabla 5), podemos observar que la Comunidad con un mayor número es Cataluña con 10 tipos varietales, seguida de Canarias y la Comunitat Valenciana con 9 y luego Andalucía y Galicia con 8. En promedio hay 4,88 tipos de varietales distribuidas en todas las Comunidades Autónomas, mostrando la gran variabilidad existente en el Estado Español.

El proceso de la diversificación del tomate en España generó nuevas combinaciones génicas. Partiendo de una base bastante estrecha, por medio de diferentes criterios de selección y mutaciones espontáneas, dio lugar a un amplio rango de perfiles sensoriales previamente inexistentes en el cultivo. Este material obtenido se conserva en lo que llamamos variedades tradicionales (Casals, 2012).

Por otra parte, en los últimos años se ha producido un aumento en la demanda de los consumidores de productos derivados de variedades tradicionales. En muchos países ha aumentado el valor de lo “rural” por parte de la sociedad, provocado por las consecuencias negativas que ha traído la modernización en los sistemas de producción. En el caso de España la transición política y el resurgir de las identidades autonómicas han generado también la búsqueda de las raíces locales. Esta búsqueda de raíces recae mucho en las áreas rurales y zonas agrarias (Maestre *et al.*, 2008). Es de destacar que las variedades tradicionales forman parte muy importante en esta búsqueda de identidad.

1.4.3.- Variedades tradicionales en València

Toda la costa este de la Península Ibérica y destacando la Comunitat Valenciana, ha desempeñado un papel importante en la producción y diversificación de hortalizas como el tomate (Cortés, 2015). La Comunitat Valenciana presenta una enorme riqueza en variedades tradicionales de tomate, esto se debe en parte a la diversidad de condiciones agroecológicas que presenta (Alcubierre, 2016).

También, gracias a la selección y conservación realizada por muchas generaciones de agricultores se han generado numerosas variedades, que se caracterizan por su calidad organoléptica sumada a la diversidad morfológica (Lara, 2017).

Según Soler *et al.* (2017), las principales variedades tradicionales son las llamadas ‘*De borseta*’, ‘*Del pebre*’, ‘*De Penjar*’, ‘*De pruna*’, ‘*Mutxamel*’ y ‘*Valenciana*’, siendo la última de ellas una de las más apreciadas por sus propiedades organolépticas y carnosidad. Es necesario aclarar que, aunque el apelativo “Valenciano” se ha empleado fuera de la

Comunitat Valenciana para referirse a cualquier variedad originada en esta comunidad autónoma, este es un tipo varietal concreto con sus propias características distintivas (Alcubierre, 2016).

Es evidente la importancia de la conservación de las variedades tradicionales. En primer lugar, por ser la fuente de recursos fitogenéticos que puede permitir realizar mejora y, en consecuencia, generar nuevas variedades. También puede realizarse mejora directamente en estas variedades dado la emergente demanda hacia los productos más tradicionales. En cualquier caso, es necesario fomentar su conservación, puesto que se pueden definir como una riqueza para la agrobiodiversidad y para la cultura de las diferentes Comunidades.

1.4.4.- El tomate '*De Penjar*'

Los tomates mediterráneos de larga vida útil (Long shelf life) pertenecen a un grupo de variedades locales con frutos cuya vida útil se prolonga desde 6 hasta 12 meses después de la cosecha. La mayoría presenta tolerancia a la sequía ya que han sido seleccionados en condiciones de cultivo semiáridas del clima mediterráneo, con riegos pobres o incluso en seco. El tamaño de los frutos tiende a ser pequeño (Conesa *et al.*, 2020). Entre los tomates de larga vida tradicionales se encuentran los tomates del tipo '*De Penjar*'.

El tomate '*De Penjar*' (para colgar) es originario del noreste de la Península Ibérica (Illes Balears, Catalunya y la Comunitat Valenciana). Son tomates con distintas morfologías de frutos, que pueden presentar piel transparente dándole al fruto tonalidades de color rosado-amarillenta, o piel amarilla dándole tonos anaranjados (Figura 3). Presentan un pericarpio engrosado y duro, y de dos a tres lóculos como máximo (Casals, 2012; Cebolla-Cornejo, 2005).



Figura 3: Tomates colgados del tipo '*De Penjar*' de Alcalà de Xivert. (Fuente: Asociación "Tomata de penjar", 2018).

Según Casals *et al.* (2012), una de las principales características del tomate '*De Penjar*' es su larga vida útil tras haber sido cosechados. De hecho, el nombre '*De Penjar*' hace referencia a la práctica de colgar los tomates usualmente en las vigas de las casas para mantenerlos aireados y frescos. Estos tomates se cosechaban en verano y podían ser consumidos sin procesar "frescos" en invierno en buen estado.

La larga vida útil del tomate '*De Penjar*' se debe al alelo mutante en la maduración *alcobaça* (*alc*). Específicamente es dado por un remplazo de timidina por adenina en la posición 317 de la secuencia de codificación de el gen NAC.NOR (Casals *et al.*, 2012). También se ha encontrado una relación entre la mutación *alc* y el tamaño pequeño del fruto, por lo que existe una interacción entre la característica de larga vida y el tamaño del fruto.

1.5.- CALIDAD EN LAS VARIEDADES TRADICIONALES

La calidad es definida como la capacidad de satisfacer las demandas y expectativas de los diferentes usuarios y consumidores. El concepto de calidad aplicado a las frutas y hortalizas es bastante complejo porque no puede aplicarse a un solo factor, sino a la combinación e interacciones de todas las características que lo conforman. También es relativo porque dependerá de los gustos y preferencias de los diferentes consumidores, variando entre ellos (Roselló y Nuez, 2006; Casals, 2012).

Según Roselló y Nuez (2006), la calidad organoléptica se refiere fundamentalmente a las sensaciones que experimenta el consumidor al probar un alimento. Esta puede estar relacionada con diferentes sentidos como el del gusto con el dulzor o acidez; el olfato con la variación de aromas; y el tacto, con la textura o firmeza. Debe mencionarse que la a sensación de textura o firmeza también se experimenta al ser consumido el fruto, ya que forma parte de la experiencia del consumidor y por lo tanto también forma parte de los parámetros de calidad.

El sabor característico del tomate y su intensidad es generado por el efecto complejo de la interacción entre distintos componentes. Esta determinado principalmente por azúcares reductores (fructosa y glucosa), ácidos orgánicos (cítrico y málico), algunos minerales y sustancias volátiles (Petro-Turza, 1986).

Las sustancias volátiles se desarrollan durante la maduración del fruto, estas se derivan principalmente de ácidos grasos y aminoácidos (Petro-Turza, 1986). Se han determinado más de 400 compuestos volátiles en frutos de tomate. Sin embargo, solo 30 han demostrado contribuir significativamente al aroma y sabor del tomate (Yilmaz, 2001).

El dulzor del fruto está relacionado con el contenido en azúcares, siendo más intenso a mayores concentraciones de estos compuestos. Los azúcares representan entre el 1,0 y el 4,5% del peso fresco del fruto. Los principales azúcares presentes en el tomate son la fructosa y la glucosa (Roselló y Nuez, 2006). Durante la formación del fruto el contenido de azúcares es menor y la relación entre fructosa:glucosa está alrededor de 1,8, conforme el

fruto madura, el contenido en azúcares aumenta y la relación fructosa:glucosa pasa a estar alrededor de 1,0. Se considera más importante el contenido en fructosa debido a que esta tiene una mayor capacidad edulcorante, siendo entre el doble y el triple al de la glucosa (Petro-Turza, 1986; Yilmaz, 2001).

Por otra parte, el aporte de acidez es dado por los ácidos orgánicos, siendo los principales el cítrico y el málico, entre el 0,3 y el 1,0% del peso fresco (Rosello y Nuez, 2006). En el tomate maduro, la proporción de ácido málico:cítrico es de 0,5 o menor en algunos casos. El ácido málico produce una percepción mayor de acidez que el ácido cítrico (aproximadamente un 14%). Sin embargo, su influencia sobre el sabor es menor dada su menor concentración respecto al ácido cítrico (Yilmaz, 2001).

Para el valor nutricional, el tomate cuenta con un importante contenido en minerales, compuestos con actividad antioxidante y vitaminas. Los carotenoides, principalmente el β -caroteno y el licopeno, son pigmentos que brindan el color rojo típico de los tomates (Roselló y Nuez, 2006). El licopeno y β -caroteno actúan como componentes antioxidantes. Existe un gran interés en el posible papel que juegan en la prevención de enfermedades. Diferentes estudios señalan la importancia nutricional del β -caroteno o provitamina A en el organismo, ya que se requiere para un desarrollo normal de la visión, la diferenciación celular y el sistema inmune. Además, cuenta con actividad antioxidante que, según algunos estudios, posiblemente juega un papel importante en la prevención de algunas enfermedades cardiovasculares (Abushita, 1997; Gey y Puska, 1989; Hu y Cassano, 2000; Ross y Harrison, 2007). El licopeno, es uno de los principales carotenoides presentes en los tejidos humanos, presenta un papel nutricional al igual que otros carotenoides como antioxidante, su consumo se ha relacionado con un menor riesgo a enfermedades degenerativas y cardiovasculares (Srivastava y Srivastava, 2015; Petyaev, 2016).

Por otra parte, el ácido ascórbico (vitamina C), desempeña un papel como cofactor redox y cataliza una amplia gama de reacciones y procesos bioquímicos (Vilter, 1980; Frankel, 1989; Johnston *et al.*, 2007). Los principales compuestos del fruto de tomate maduro pueden verse en la tabla 6.

Tabla 6: Composición del fruto de tomate maduro.

	Grupo	Constituyentes	Contenido (g/100 g peso seco)
Sólidos insolubles en alcohol	Proteínas		8
	Pectinas		7
	Hemicelulosa		4
	Celulosa		6
Sólidos solubles	Ácidos orgánicos	Ácido cítrico	9
		Ácido málico	4
	Minerales	K+, Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , P	8
	Azúcares	Glucosa	22
		Fructosa	25
		Sacarosa	1
Otros compuestos importantes	Lípidos		2
	Aminoácidos dicarboxílicos		2
	Vitaminas		0,5
	Pigmentos	(Principalmente licopeno)	0,4
	Compuestos volátiles		0,1

Fuente: Abushita *et al.*, 1997; Davies y Hobson, 1981. Obtenido de Roselló y Nuez, 2006.

En cuanto a calidad organoléptica, actualmente se pueden diferenciar dos grupos de tomate para consumo en fresco siendo los cultivares tradicionales y los cultivares modernos. Desde hace años los consumidores se quejan por pérdida de la calidad en los frutos de los cultivares modernos, resaltando que solo presentan un atractivo visual pero insípidos en sabor (Roselló y Nuez, 2006). La globalización de la producción agrícola ha determinado una mayor demanda por parte de los consumidores de calidad. Así, hay una tendencia creciente en el interés por el consumo de variedades locales, y también el llamado deseo por retomar los “sabores del pasado” (Casals, 2012; Mercati *et al.*, 2014). Todo esto resalta la necesidad de la conservación de las variedades tradicionales, ya que los cultivos tradicionales de forma general presentan una excelente calidad organoléptica. Sin embargo, es necesario recordar que su homogeneidad es mucho más baja en comparación

con los cultivos mejorados, además de no contar con resistencias a determinadas plagas y enfermedades y en algunos casos no tener buenos rendimientos. Si se busca realizar mejora sobre las variedades tradicionales, es necesario tener esos puntos en cuenta como objetivos de mejora.

Por otra parte, Figàs *et al.* 2015, resalta la necesidad de las variedades locales de ser certificadas para poder garantizar una mayor protección para los agricultores contra la imitación y las falsificaciones, permitiéndole a estos poder obtener un mayor valor agregado.

Otra estrategia, es utilizarlos como fuente de variabilidad para la mejora de la calidad de los cultivares modernos. Actualmente también se han detectado numerosos QTLs relacionados con el contenido de sólidos solubles, la relación fructosa/glucosa o el contenido en ácidos orgánicos, que facilita la selección y mejora (Casals, 2012).

Por último, se debe señalar que a pesar de que en general las variedades tradicionales presentan mejores características organolépticas, existe también una enorme variación entre ellas, lo que hace importante en programas de mejora poder contar con métodos de selección adecuados. A esto se suma la dificultad de cuantificar los componentes relacionados con el sabor y aroma; y que estos compuestos están muy influenciados por el ambiente y variables agronómicas (Roselló y Nuez, 2006). Por ello, es muy necesario el desarrollo de metodologías que mejoren, tanto la cuantificación de los componentes que intervienen en los parámetros de calidad organoléptica, como estudios que comprueben como influyen diferentes factores ambientales y agronómicos en dicha calidad. Esto facilitaría poder trabajar en los programas de mejora con dichas variedades.

1.6.- EFECTO DEL NITRÓGENO EN LOS RENDIMIENTOS Y CALIDAD DEL TOMATE

En la agricultura convencional existe una dependencia hacia a los fertilizantes químicos al haberse abandonado practicas con las que se realizaban aportes de nitrógeno con fertilizantes orgánicos. La dependencia de los fertilizantes químicos para obtener buenos rendimientos, y en la mayoría de los casos el precio y facilidad que los agricultores tienen para adquirirlos ha provocado una aplicación excesiva de fertilizantes en todo el mundo (Eugercios *et al.*, 2019). Este uso excesivo de fertilizantes, sobre todo del tipo nitrogenado, ha producido una serie de problemas de elevado impacto ambiental, entre ellos se puede mencionar la eutrofización, la toxicidad de las aguas, contaminación del manto freático, degradación de los suelos y desequilibrio en los ecosistemas (Eugercios *et al.*, 2019).

Esto ha llevado a la búsqueda de diferentes estrategias que reduzcan el impacto de los fertilizantes, entre ellas se pueden mencionar la menor dosificación de fertilizantes nitrogenados, la aplicación de prácticas agrícolas tradicionales con las que se aporta nitrógeno de fuentes orgánicas y el uso de variedades tradicionales que requieran un menor aporte de nitrógeno para tener una producción estable y rentable.

En un ensayo realizado por Villarreal *et al.* (2002), en donde se analizaron dos tratamientos, uno con una aplicación convencional de nitrógeno y otro con una reducción de 200 kg/ha, los resultados obtenidos no mostraron diferencias significativas en cuanto al rendimiento, tamaño, firmeza, peso y sabor del fruto. Esto permite observar que existen casos en lo que hay sobredosificaciones de nitrógeno.

En cuanto al efecto del nitrógeno sobre la calidad del fruto del tomate, existen resultados bastantes variados. En algunos ensayos se ha observado que los tratamientos con menos nitrógeno obtienen menos rendimientos, pero frutos más firmes y con mayor contenido en azúcares (Wei *et al.*, 2018). Esto se ha justificado con que, al haber un menor número de frutos, estos pueden almacenar una mayor cantidad de azúcares. Sin embargo, también hay casos en los que el contenido en azúcares disminuye en los frutos y aumenta el contenido en ácidos orgánicos en los tratamientos con menos fertilizante en comparación con el tratamiento convencional (Heeb *et al.*, 2006).

2.- OBJETIVOS

El objetivo de este trabajo es estudiar el efecto del nivel de fertilización nitrogenada, sobre diferentes parámetros de calidad del fruto del tomate en 39 variedades locales de tomate del tipo '*De Penjar*' procedentes del Grup de Conservació i Millora de Varietats Tradicionals Valecianes y del banco de germoplasma del Institut Universitari de Conservació y Millora de l' Agrodiversitat Valenciana (COMAV) y cinco controles.

Para ello se plantean los siguientes subobjetivos:

- Determinar el contenido de azúcares, ácidos orgánicos, carotenoides, antioxidantes totales, vitamina C, grados Brix y pH en muestras de tomate de las entradas para ambos tratamientos.
- Evaluar estadísticamente las posibles diferencias de los parámetros de calidad entre las 39 variedades locales y los cinco controles.
- Evaluar estadísticamente el posible efecto del nitrógeno sobre los parámetros de calidad del fruto entre las variedades y los controles.
- Evaluar posibles interacciones entre los tratamientos de nitrógeno y las variedades y controles para los parámetros de calidad del fruto.

3.- MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.- MATERIAL VEGETAL

Se emplearon 39 variedades locales de tomate del tipo ‘*De Penjar*’ procedentes del Grup de Conservació i Millora de Varietats Tradicionals Valencianes y del Banco de Germoplasma del Institut Universitari de Conservació i Millora de l’ Agrodiversitat Valenciana (COMAV), procedentes de la Comunitat Valenciana. Además, se utilizaron cinco controles, conformados por dos híbridos comerciales, dos variedades comerciales y una línea pura experimental. Tanto las variedades locales como los controles se presentan en la tabla 7.

Tabla 7: Listado de las variedades locales y controles empleados, descritos por su tipo de variedad y origen.

Nombre de Entrada	Código	Tipo de Variedad	Origen
SL-ALCALADEXIVERT-1	AX1	Variedad local	Alcalà de Xivert, Castelló, Comunitat Valenciana
SL-ALCALADEXIVERT-2	AX2	Variedad local	Alcalà de Xivert, Castelló, Comunitat Valenciana
SL-ALCALADEXIVERT-3	AX3	Variedad local	Alcalà de Xivert, Castelló, Comunitat Valenciana
SL-ALCORA-1	AC1	Variedad local	Alcora, Castelló, Comunitat Valenciana
SL-ALGINET-1	AG1	Variedad local	Alginet, València, Comunitat Valenciana
SL-ARANYUEL-1	AY1	Variedad local	Arañuel, Castelló, Comunitat Valenciana
SL-BENLLOCH-1	BL1	Variedad local	Benlloch, Castelló, Comunitat Valenciana
SL-CASTELLFORT-3	CF3	Variedad local	Castellfort, Castelló, Comunitat Valenciana
SL-CHELVA-1	CH1	Variedad local	Chelva, València, Comunitat Valenciana
SL-CINCTORRES-2	CI2	Variedad local	Cinctorres, Castelló, Comunitat Valenciana
SL-COCENTAINA-1	CO1	Variedad local	Cocentaina, Alicante, Comunitat Valenciana
SL-FANZARA-2	FA2	Variedad local	Fanzara, Castelló, Comunitat Valenciana
SL-FIGUEROLES-1	FI1	Variedad local	Figueroles, Castelló, Comunitat Valenciana
SL-LAJANA-1	LA1	Variedad local	La Jana, Castelló, Comunitat Valenciana
SL-LAJANA-2	LA2	Variedad local	La Jana, Castelló, Comunitat Valenciana
SL-LLIRIA-1	LL1	Variedad local	Liria, València, Comunitat Valenciana
SL-LLIRIA-2	LL2	Variedad local	Liria, València, Comunitat Valenciana
SL-MONTAN-1	MO1	Variedad local	Montán, Castelló, Comunitat Valenciana
SL-MONTAN-2	MO2	Variedad local	Montán, Castelló, Comunitat Valenciana
SL-MONTROI-1	MT1	Variedad local	Montroy, València, Comunitat Valenciana
SL-PEGO-1	PG1	Variedad local	Pego, Alicante, Comunitat Valenciana
SL-SALZADELLA-2	SA2	Variedad local	Salsadella, Castelló, Comunitat Valenciana
SL-SANTMATEU-2	SN2	Variedad local	San Mateo, Castelló, Comunitat Valenciana

SL-SONEJA-1	SO1	Variedad local	Soneja, Castelló, Comunitat Valenciana
SL-TEULADA-1	TE1	Variedad local	Teulada, Alicante, Comunitat Valenciana
SL-TEULADA-2	TE2	Variedad local	Teulada, Alicante, Comunitat Valenciana
SL-TORREBAIXA-1	TO1	Variedad local	Torrebaja, València, Comunitat Valenciana
SL-TORREDENDOMENECH-1	TR1	Variedad local	Torre d'Endoménech, Castelló, Comunitat Valenciana
SL-TRAIGUERA-1	TA1	Variedad local	Traiguera, Castelló, Comunitat Valenciana
SL-VALLDALBA-1	VA1	Variedad local	Vall d'Alba, Castelló, Comunitat Valenciana
SL-VILLAHERMOSADELRIO-1	VH1	Variedad local	Villahermosa del Río, Castelló, Comunitat Valenciana
SL-VILLAHERMOSADELRIO-2	VH2	Variedad local	Villahermosa del Río, Castelló, Comunitat Valenciana
SL-VINAROS-1	VI1	Variedad local	Vinaroz, Castelló, Comunitat Valenciana
SL-VINAROS-2	VI2	Variedad local	Vinaroz, Castelló, Comunitat Valenciana
SL-VISTABELLA-1	VT1	Variedad local	Vistabella del Maestrazgo, Castelló, Comunitat Valenciana
SL-VIVER-1	UV1	Variedad local	Viver, Castelló, Comunitat Valenciana
SL-XAVIA-1	XA1	Variedad local	Xàvia, Alicante, Comunitat Valenciana
SL-XAVIA-2	XA2	Variedad local	Xàvia, Alicante, Comunitat Valenciana
SL-XERICA-1	XE1	Variedad local	Xérica, Castelló, Comunitat Valenciana
MANACOR F1	C1	Híbrido comercial	Semillas Fitó, España
PALAMOS F1	C2	Híbrido comercial	Semillas Fitó, España
DOMINGO	C3	Selección comercial	Semillas Batlle, España
MALLORQUÍN	C4	Selección comercial	Semillas Batlle, España
JORBA	C5	Línea experimental	Grup de Conservació i Millora de Varietats Tradicionals Valèncianes, COMAV

3.2.- CONDICIONES DEL CULTIVO

El ensayo fue establecido al aire libre, en una parcela ubicada en Alcossebre, Castelló (Comunitat Valenciana), en las coordenadas 40°13'21" N 0°15'51" E, a 4 metros de altitud.

Se realizó un análisis de suelo en la parcela antes del establecimiento del ensayo. Se tomaron 5 muestra en el campo, el muestreo fue de tipo sistemático con una distribución diagonal. Cada muestra estaba conformada por 5 submuestras obtenidas alrededor del punto de muestreo. El perfil de suelo extraído para la muestra fue de los 20 cm posteriores a los primeros 10 cm del suelo. Las 5 submuestras fueron bien mezcladas para formar una muestra homogénea, repitiéndose el proceso para cada muestra.

El análisis de las muestras reveló que el suelo presenta una textura franco-arcillosa, un pH moderadamente básico (8,23), una baja salinidad con una conductividad eléctrica de 302 $\mu\text{S}/\text{cm}$, contenido en porcentaje de nitrógeno normal (0,167%), un elevado porcentaje de materia orgánica (3,63%) y una alta relación carbono/nitrógeno (12,6). La elevada relación C/N puede provocar una escasa liberación de nitrógeno en el suelo (Tabla 8).

Tabla 8: Resultados de diferentes parámetros del muestreo de suelo.

Parámetro	Valor de la muestra	Resultado
Textura	Arena: 41%	Franco-arcilloso
	Arcilla: 36%	
	Limo: 23%	
pH agua	8,22	Moderadamente básico (7,8-8,5)
C.E	302 $\mu\text{S}/\text{cm}$	No salino (<350)
Nitrógeno total	0,167%	Normal (0,11-0,20%)
Materia orgánica	3,63%	Muy alta (>3,5)
C/N	12,6	Alta. Escasa liberación de N (12-15)

Se utilizó un manejo bajo condiciones ecológicas. Las plantas fueron podadas hasta el primer racimo y se realizó un entutorado en espaldera, que facilita la realización de manejos agronómicos y fitosanitarios del cultivo, con el propósito de obtener un mayor potencial productivo de las plantas (López, 2016). El riego se aplicó por goteo.

El ensayo se estableció en una distribución de bloques al azar, formado por seis bloques, dos tratamientos, un tratamiento de bajo nitrógeno (BN) y un tratamiento con nitrógeno normal (NN). A los bloques 1, 2 y 3 se les aplicó el tratamiento de bajo nitrógeno, y a los bloques 4, 5 y 6 el tratamiento de nitrógeno normal. En cada bloque se establecieron dos plantas de cada variedad.

Se utilizó abono de fondo orgánico Organia®. Los demás fertilizantes se aplicaron por fertirrigación. Para el tratamiento de nitrógeno normal se aportó un total de 162 Kg/ha de Nitrógeno, y para el tratamiento de bajo nitrógeno 52 kg/ha.

3.3.- PROCESADO DE LAS MUESTRAS

Para el muestreo de los frutos se seleccionaron entre 5 y 10 frutos representativos por bloque de cada entrada, en madurez comercial. Estos tomates no debían presentar daños de tipo mecánico causados por plagas y enfermedades. Posteriormente, las muestras se procesaron de dos formas según el análisis para el que estaban dirigidas, una para la obtención de zumo y otra para la obtención de muestras liofilizadas.

3.4.1.- Obtención de zumo

Para el análisis de la acidez titulable, el contenido en sólidos solubles, en azúcares reductores, ácidos y vitamina C, los frutos seleccionados fueron partidos por la mitad, una mitad de cada fruto se utilizó para triturar utilizando batidora de mano eléctrica (Taurus, Oliana, España), obteniendo una mezcla homogénea. El extracto obtenido fue filtrado con muselina para eliminar la parte sólida.

Posteriormente, se determinó la densidad de cada muestra utilizando una probeta y una balanza analítica, de manera que $\rho=m/V$, siendo ρ la densidad de la muestra (g/L), m la masa de un volumen conocido de zumo (g), y V el volumen del zumo pesado, en este caso 20 mL. El zumo, entonces, se separó en alícuotas de 2ml y en dos tubos de 15ml y se almacenó a -80°C hasta su análisis

3.4.2.- Obtención de muestra liofilizada

Para el análisis de carotenoides y antioxidantes totales se utilizó muestra liofilizada. Para ello, a la otra mitad de cada tomate utilizado para la extracción de zumo se les retiró la semilla, para luego ser congelada sumergiéndola en nitrógeno líquido, aproximadamente 15 segundos. Una vez congelada rápidamente pasó a ser triturado utilizando un molinillo de café eléctrico (Taurus, Oliana, España). Una vez congelada y triturada la muestra se pasó a tres viales de 20mL y se almacenaron rápidamente a -80°C .

Las muestras se liofilizaron en un liofilizador VirTis Genesis 35L (Figura 4). Posteriormente las muestras se almacenaron a temperatura ambiente en oscuridad.



Figura 4: Liofilizador piloto VirTis Genesis 35L (Fuente: SP SCIENTIFIC).

3.4.- PARÁMETROS DE CALIDAD EVALUADOS

Para medir el efecto en la calidad en el fruto generado por los dos tratamientos en nitrógeno en las diferentes variedades de tomate se evaluó el contenido en azúcares (glucosa y fructosa), ácidos orgánicos (cítrico y málico), carotenoides, antioxidantes, vitamina C, sólidos solubles y acidez titulable.

3.4.1.- Contenido en glucosa y fructosa

El contenido de glucosa y fructosa se determinó en base al método desarrollado por Fernández-Ruiz *et al.* (2004) con algunas modificaciones. Un eppendorf de 2 mL por variedad y bloque, con el extracto líquido de tomate previamente almacenado a -80°C se descongeló y centrifugó durante cinco minutos a 10.000 rpm. Las muestras fueron diluidas con agua MilliQ ½ y se agitaron en vórtex durante 10 segundos.

La solución fue filtrada dentro de viales de HPLC previamente etiquetados utilizando filtros PVDF de 0,22 µm (MILLEX-GV, Millipore, Irlanda). La membrana permitió la eliminación de las partículas finas de soluciones acuosas y ligeramente orgánicas. Posteriormente se llevó a cabo la separación por cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC por sus siglas en inglés) utilizando para ello un equipo “1220 Infinity LC System” (Agilent Technologies, Santa Clara, CA, USA) y un detector de índice de refracción.

La separación cromatográfica se realizó mediante una columna Omega Luna SUGAR, de un tamaño de partícula de 3 µm, 150 mm, 4,66 mm (Phenomenex, California, USA). Los parámetros de la separación fueron: una velocidad de flujo de 1 ml/min, una fase móvil constituida por acetonitrilo (ACN) y agua, en proporción 75:25 y un tiempo total de análisis, incluyendo la fase de limpieza de la columna entre muestras, de 15 minutos por muestra.

Para determinar las concentraciones de azúcares se utilizó una curva de calibrado de 7 puntos a partir de una solución madre de 30.000 ppm para fructosa (FRU) y glucosa (GLU) (Figura 5 y 6).

Los resultados del contenido de fructosa y glucosa se expresaron como miligramos por 100 gramos de materia fresca.

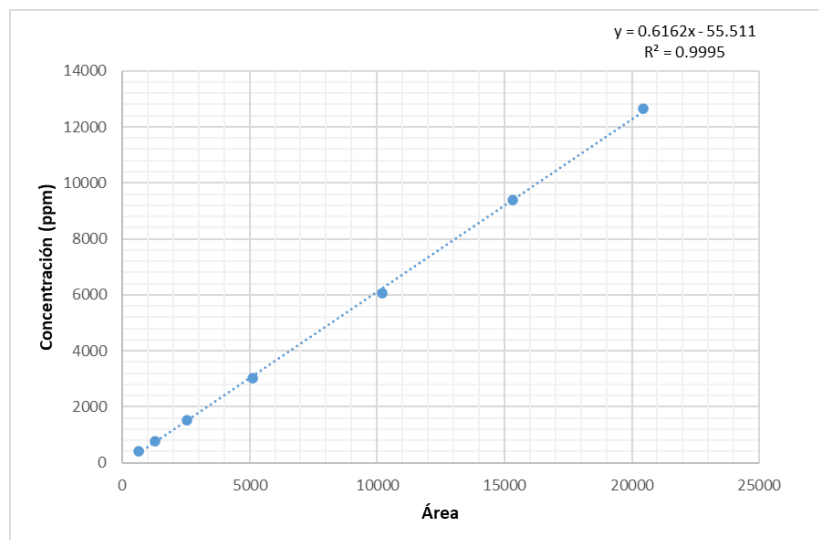


Figura 5: Recta de calibrado para fructosa.

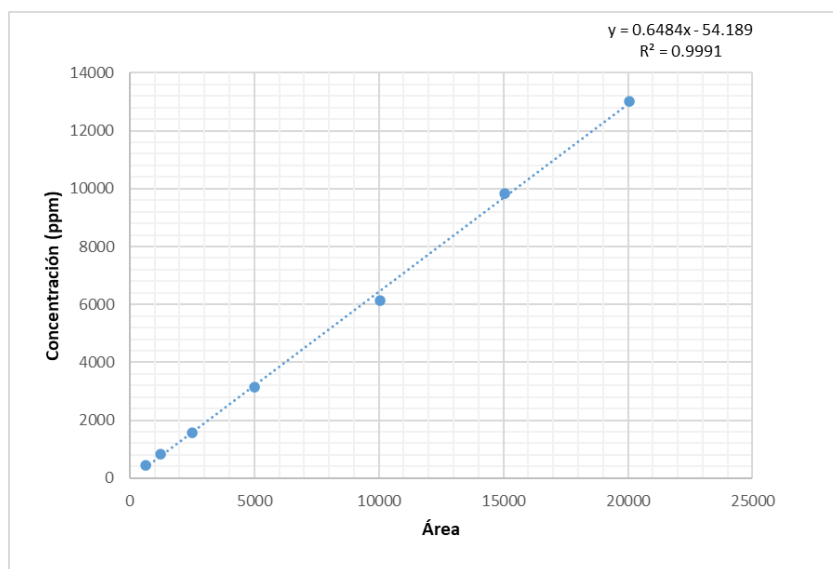


Figura 6: Recta de calibrado para glucosa.

3.4.2.- Contenido en ácidos orgánicos

El análisis de ácido málico y ácido cítrico se determinó por medio de HPLC, en base al método desarrollado por Fernández-Ruiz *et al.* (2004), con algunas modificaciones. Se usó el mismo extracto que para el análisis de azúcares.

La separación y detección se realizó por medio de una columna H+. La detección se realizó a 210 nm con un detector UV acoplado al sistema HPLC 1220 Infinity. La velocidad del flujo fue de 0,5 ml por minuto y la fase móvil utilizada, 100% de 1mM de H₂SO₄. El tiempo total de análisis incluyendo la fase de preparación de la columna entre muestras fue de 30 minutos por muestra.

Para la cuantificación de los ácidos se obtuvo una curva estándar a partir de una solución madre de 5.000 ppm de ácido málico (MAL) y de ácido cítrico (CIT). En la figura 7 y 8 se presentan las calibraciones realizadas con las concentraciones.

Los resultados para la concentración de ácido málico y ácido cítrico se expresaron como miligramos por 100 gramos de materia fresca

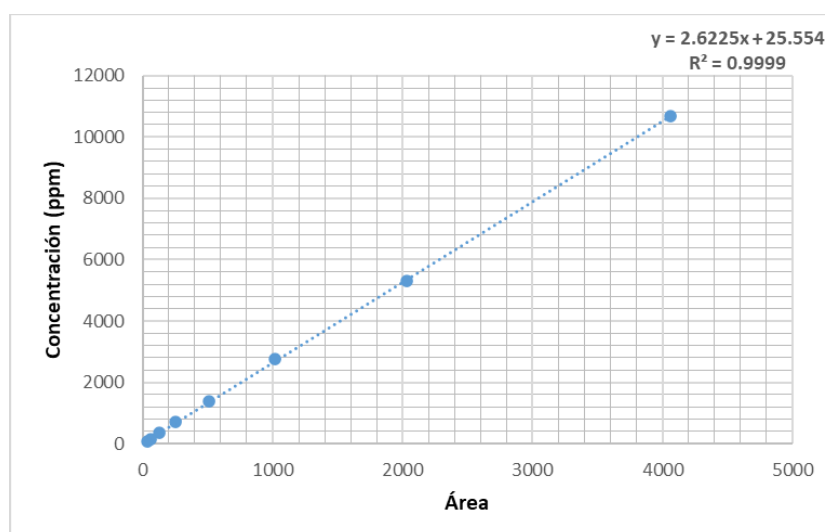


Figura 7: Recta de calibrado para ácido cítrico.

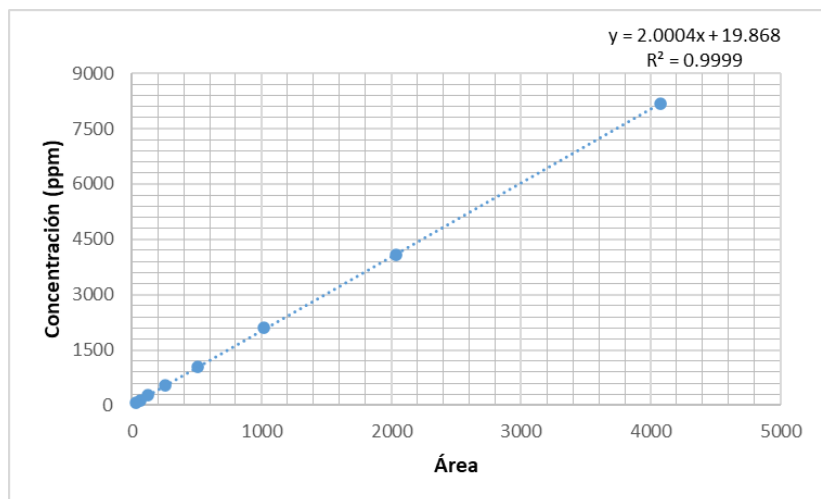


Figura 8: Recta de calibrado para ácido málico.

3.4.3.- Contenido en carotenoides

El contenido en carotenoides (licopeno, β -caroteno y carotenoides totales) se determinó espectrofotométricamente basándose en el método propuesto por Zscheile y Porter (1947), y posteriormente modificado por Rousseaux *et al.* (2005).

Se pesaron 30 mg de las muestras liofilizadas en un tubo de vidrio de 15 ml, además se agregó un tubo extra sin material que se utilizaría como el blanco. A cada tubo se añadieron 7 ml de la solución de extracción etanol:hexano (4:3 v/v) y se mantuvieron en oscuridad y agitación a 200 rpm durante una hora.

Una vez pasado el tiempo de extracción se añadió a cada tubo 1 ml de agua destilada, mezclando manualmente y dejándolo reposar durante 10 minutos a 4°C, para permitir la separación de las dos fases. Posteriormente se midió la absorbancia de la fase de suspensión (fase hexano más carotenoides) a 452, 485 y 510 nm utilizando un espectrofotómetro UV/VIS (“Uvi Line 9400”, SI Analytics, Mainz, Germany).

La cuantificación de licopeno, β -caroteno y carotenoides totales se realizó según las siguientes fórmulas:

$$C_{licopeno} \left(\frac{mg}{100g} \right) = \frac{Abs_{510} \cdot 537 \cdot 2,7}{Peso (mg) \cdot 172} \cdot 100$$

Donde:

537: peso molecular del licopeno (g/mol)

2,7: volumen de la fase hexano (ml)

172: coeficiente de extinción molar del licopeno en solución de hexano (mM-1).

Para la cuantificación del contenido de caroteno se partió de la fórmula:

$$C_{\beta-caroteno} \left(\frac{mg}{100g} \right) = \frac{[Abs_{452} - (Abs_{510} \cdot 0,9285)] \cdot 533 \cdot 2,7}{Peso (mg) \cdot 139} \cdot 100$$

Donde:

533: peso molecular de β -caroteno (g / mol)

2,7: volumen de la fase hexano (ml)

139: coeficiente de extinción molar de β -caroteno en solución de hexano (mM-1).

Por último, para la cuantificación del de licopeno y caroteno se partió de la fórmula:

$$C_{total} = \frac{Abs_{485} \cdot 2,7}{Peso (g) \cdot 181} \cdot 100$$

Donde:

2,7: volumen de la fase hexano (ml)

181: coeficiente de extinción molar de mezcla de carotenoides (mM-1).

Los resultados se expresaron como miligramos de licopeno, β -caroteno, o carotenoides totales por 100 gramos de materia fresca.

3.4.4.- Contenido en antioxidantes totales

La determinación del contenido en antioxidantes totales (AOT) se basó en la reducción de 2,2-difenil-1-picrylhydrazyl (DPPH) como radical libre (Brand-Williams *et al.*, 1995).

Para analizar las muestras primero se pesaron 0,150 g de material liofilizado en tubos falcón de 15 ml, posteriormente se agregaron 5 ml de MetOH:HCl (99:1 v/v) a cada tubo. Los tubos se cerraron y sellaron con Parafilm para evitar pérdidas y se pusieron a agitar en oscuridad a 200 rpm durante 1 hora.

Pasada la hora de agitación, las muestras se centrifugaron a 1.000 rpm durante tres minutos. Se tomó 0,1 ml de sobrenadante de cada muestra a un nuevo tubo de vidrio de 12x75 mm y se diluyó a 1 ml de MetOH. Luego se pasó 0,1 ml de la nueva solución de cada muestra a otro nuevo tubo de vidrio de 12x75mm y se agregaron 3,9ml de una solución DPPH (6×10^{-5} mol DPPH /L MetOH) preparada previamente. Se cerraron los tubos, se agitaron y se incubaron en oscuridad durante una hora. Transcurrida la hora, se procedió a medir la absorbancia de cada muestra en el espectrofotómetro a 515 nm.

La cuantificación de la AOT se realizó en base a una curva de calibrado con TROLOX (Figura 9). El compuesto TROLOX (ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcroman-2-carboxílico) es un antioxidante análogo de la vitamina E vendido por Hoffman-LaRoche, utilizado en aplicaciones biológicas o bioquímicas para reducir el daño o estrés oxidativo.

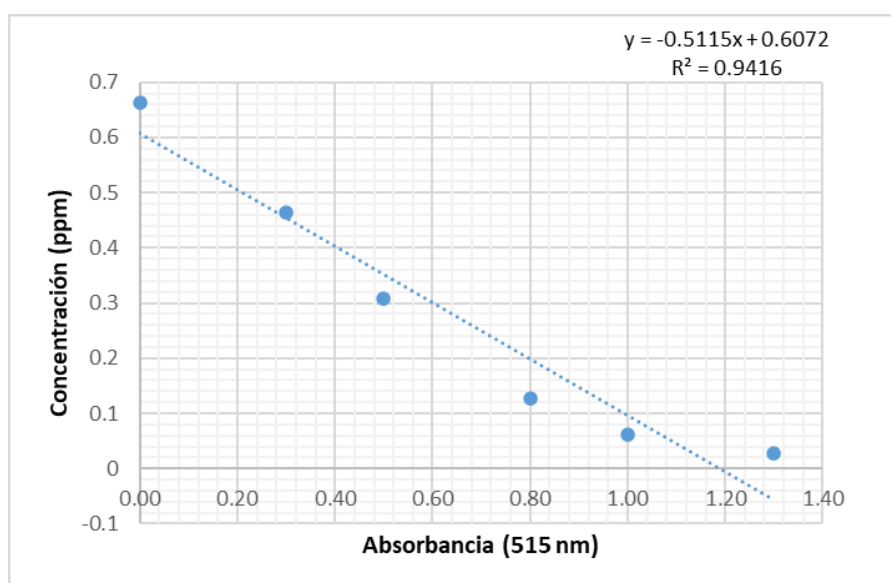


Figura 9: Recta de calibrado para patrón de TROLOX.

Se tomó 0,1 ml de cada patrón preparado en un tubo de 12x75 mm y se agregó 3,9 ml de la solución DPPH. Después de 6 minutos, se leyó la absorbancia a 515 nm. Tanto la solución DPPH como la curva patrón de TROLOX se debían preparar cada día y mantener en oscuridad ya que son compuestos muy inestables y fotosensibles. Los resultados se expresaron en mg de equivalentes TROLOX por 100 g de materia fresca.

3.4.5.- Contenido en vitamina C

La extracción y preparación de la muestra para el análisis de vitamina C (ácido ascórbico (AA) más ácido dehidroascórbico (DHA)), se realizó según el método propuesto por Chebrolu *et al.* (2012).

Una alícuota de extracto líquido por variedad y bloque se descongeló y se centrifugó a 10.000 rpm durante 5 minutos. Trabajando siempre en frío, el sobrenadante se diluyó en ácido metafosfórico al 3% en proporción 1:1. Luego las muestras fueron filtradas en viales de HPLC oscuros previamente etiquetados. Se utilizaron para ello filtros PVDF de 0,22 µm (MILLEX-GV, Millipore, Irlanda).

Una alícuota del extracto filtrado se utilizó para realizar reducción total del ácido dehidroascórbico presente en la muestra. Se prepararon alícuotas de 150-300 µl de cada muestra filtrada en un nuevo vial, a los que se añadió la misma cantidad de TCEP de muestra y se incubaron durante 30 minutos en oscuridad después de ser agitados en vórtex. De esta manera, este último extracto se utilizó para la determinación del total de vitamina C, considerando esta como la suma de los contenidos totales en AA y DHA.

La cuantificación de la vitamina C presente en las muestras se llevó a cabo mediante HPLC (1220 Infinity LC System, Agilent Technologies, Santa Clara, CA, USA) y detección UV a 254 nm. La separación cromatográfica se realizó en una columna Luna C18 polar (3 µm; 150 mm x 4.6 mm; Phenomenex, California, EE. UU.) y una velocidad de flujo de 1 ml/min. Se utilizó como fase móvil A, ácido acético al 1% y B, metanol 100% en una proporción 5:95 respectivamente. El tiempo de análisis fue de 15 minutos.

La cuantificación de la vitamina C se realizó en base a una curva estándar de ácido ascórbico descrita en la figura 10.

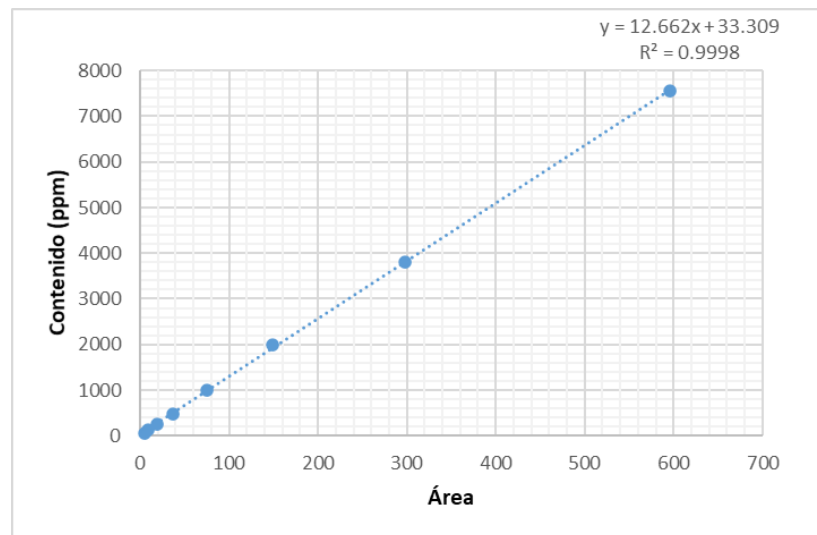


Figura 10: Recta de calibrado para ácido ascórbico.

Los resultados para el contenido en vitamina C se expresaron en miligramos por 100 gramos de materia fresca.

3.4.6.- Sólidos solubles °Grados Brix

Para la cuantificación de los sólidos solubles se utilizó el zumo, extraído previamente, de las muestras de tomates. La medición se hizo con ayuda de un refractómetro digital (HI 96801, HANNA, España) (Figura 11). Para ello se aplicaron unas gotas de zumo rellenando la superficie de la lente del instrumento, el cual mide el índice de refracción de la solución en base al ángulo crítico en el que la luz, proyectada por un LED, no refracta a través de la muestra, finalmente aplica automáticamente una compensación de temperatura y convierte el índice de refracción de sacarosa en unidades de porcentaje (por peso) Brix.



Figura 11: Refractómetro digital HI 96801 (Fuente: HANNA Instruments).

3.4.7.- Acidez

La determinación de la acidez total se valoró con una disolución alcalina NaOH a una concentración de 0,1 M hasta un pH de 8,01 utilizando el pHmetro CRISON PH-Matic 23 (Figura 12). Se utilizó 1 g del zumo con 10 ml de agua destilada.



Figura 12: pHmetro CRISON PH-Matic 23 (Fuente: CRISON Instruments).

3.5.- DETERMINACIÓN DE RENDIMIENTOS

Para la determinación del rendimiento se recolectaron cuatro frutos de cada entrada por bloque en estado de madurez comercial, luego cada fruto fue pesado. Además, se contó el número de frutos por planta durante el ciclo productivo. El rendimiento se estimó a partir del número de frutos producidos multiplicado por la media del peso en gramos de los frutos recolectados.

3.6.- ANÁLIS ESTADÍSTICO

Para el análisis estadístico se calcularon la media, el mínimo, el máximo, el rango, coeficiente de variación, análisis de varianza (ANOVA) multifactorial; se realizaron comparaciones de medias entre las variedades tradicionales y los controles; se analizaron correlaciones entre los parámetros estudiados; y se efectuó un análisis multivariado de componentes principales para las entradas. El análisis se hizo con el programa STATGRAPHICS Centurión versión XVI.

4.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con el objetivo de determinar el efecto de la reducción en la aplicación de nitrógeno sobre la calidad del fruto en diferentes variedades tradicionales, se procedió a analizar los datos obtenidos en la evaluación de los frutos para los diferentes caracteres estudiados, obteniendo los resultados que a continuación se presentan. Las abreviaturas utilizadas para referirse a los caracteres en los cuadros y figuras se presentan en el anexo 1.

Para identificar los caracteres que se vieron afectados significativamente por la reducción en el aporte de nitrógeno, se realizó un análisis de la varianza (ANOVA). A nivel de genotipo, en tratamientos individuales, se observaron diferencias significativas para todos los caracteres (Tabla 10), lo que muestra la diversidad existente para los parámetros de calidad entre las entradas de la colección.

Por otro lado, a nivel de tratamiento solo se observó un efecto significativo en cuatro de los diecinueve caracteres estudiados. Siendo estos el contenido en fructosa, el contenido en glucosa, el contenido total entre fructosa y glucosa, y el contenido en antioxidantes totales.

Las diferentes dosis de nitrógeno afectaron principalmente a la acumulación de carbohidratos en el fruto. El nitrógeno fomenta el desarrollo del follaje de las plantas (Sainju *et al.*, 2003), las hojas funcionan como fuente productora de carbohidratos, una reducción en la fuente puede provocar una reducción de carbohidratos en los sumideros, en este caso los frutos. Esto se confirma observando la media general de las entradas, para el tratamiento NN, fue superior en el contenido en fructosa, glucosa y el total de ambos en comparación al tratamiento en BN (Tabla 9). Se presentó una reducción en el contenido de estas características en el tratamiento de BN de 11,55% para fructosa, de 15,80% para glucosa y de 13,52% para la suma de glucosa y fructosa, respecto al valor medio para cada característica del tratamiento control (NN). Resultados similares se han obtenido en otras investigaciones, en dónde la aplicación de una dosis menor en nitrógeno genera una reducción en la concentración de azúcares y sólidos solubles en los frutos (Wang *et al.*, 2007). Sin embargo, también se han presentado resultados opuesto, en donde dosis

menores de nitrógeno generan un aumento en el contenido de azúcares en el fruto (Bénard *et al.*, 2009). Según Beckles (2012), este tipo de resultados opuestos pueden deberse a los genotipos específicos estudiados, o con mayor posibilidad las condiciones específicas del cultivo implementadas.

En el caso de las diferencias significativas para el contenido en los antioxidantes totales, la media de su contenido para el tratamiento en NN fue superior al de BN. Hay pocos estudios disponibles sobre el impacto en el contenido de antioxidantes en el fruto, relacionadas al suministro de nitrógeno (Beckles, 2012). Se han realizado estudios de como aumenta el contenido de algunos compuestos antioxidantes en la hoja del tomate en respuesta a un suministro bajo en nitrógeno (Wilkens *et al.*, 1996; Stout *et al.*, 1998). Sin embargo, en el caso del fruto los resultados han sido diferentes, no observándose diferencias significativas en algunos casos (Stewart *et al.*, 2001), siendo en este caso una posible respuesta diferente.

El rendimiento es uno de los parámetros de mayor interés para los productores, este no presentó diferencias significativas en nuestro ensayo para el tratamiento, esto concuerda con casos similares que la reducción del suministro de nitrógeno no causó una disminución significativa en los rendimientos de la planta (Villarreal *et al.*, 2002; Bénard *et al.*, 2009). Esto es de elevado interés, ya que una reducción en la aplicación de nitrógeno representa una reducción en los costos de producción si los rendimientos no se ven afectados, además de generar un menor impacto ambiental. Los tomates '*De Penjar*' han sido cultivados en condiciones tradicionales, bajo estrés hídrico y salinidad. La selección que se ha realizado sobre estas variedades ha permitido la obtención de genotipos tolerantes a estas condiciones, lo que ha permitido posiblemente la acumulación a diferentes estreses abióticos, como también podría ser la tolerancia a menores concentraciones de nitrógeno (Fullana-Pericàs *et al.*, 2017; Guida *et al.*, 2017; Conesa *et al.*, 2020).

A pesar de que el contenido en fructosa y glucosa es una característica importante en cuanto a la intensidad del sabor, también la relación entre los azúcares y los ácidos juegan un papel importante en la aceptabilidad del sabor (Malundo *et al.*, 1995). En este estudio

esta característica se analizó por medio de: la relación entre el contenido en fructosa y glucosa con el contenido en ácidos cítrico y ácido málico (AZ/AC); y con la relación sólidos solubles y acidez total (SS/AcT). Ambas características no se vieron afectadas significativamente por los tratamientos.

El contenido en carotenoides y el contenido en vitamina C, son considerados caracteres de importancia nutricional (Abushita, 1997; Gey y Puska, 1989; Hu y Cassano, 2000; Ross y Harrison, 2007). Estas características no presentaron diferencias significativas entre los tratamientos, este es un aspecto de interés, ya que a pesar de la reducción de nitrógeno estos parámetros nutricionales no se redujeron significativamente en los frutos. Concordando con el estudio de Bénard *et al.* (2009), donde el efecto de diferentes dosis de nitrógeno en el suelo tampoco mostró diferencias significativas para el contenido de carotenoides en el fruto.

Por otro lado, hubo una interacción significativa entre el genotipo y el tratamiento para: el contenido en licopeno, β -caroteno, carotenoides totales, antioxidantes totales y la relación entre fructosa y glucosa. Para estos caracteres, las entradas respondieron de forma diferente en los dos tratamientos.

Cabe destacar que no se observó interacción para el contenido individual de fructosa y glucosa, ni para la suma de estos, pero si para la relación, indicando que, aunque no existieron diferencias significativas en la interacción para el contenido neto, si cambiaron significativamente las proporciones, viéndose afectadas entre los tratamientos y entre los genotipos. Por ejemplo, el índice de la entrada FA2 se redujo en un 32,52% en el tratamiento de BN; por el contrario, el índice de la entrada LL2 se incrementó en un 51,30% en el tratamiento de BN en comparación al tratamiento control.

Tabla 9: Medias generales, error estándar, coeficiente de variación y rango de los caracteres de calidad de fruto y producción para ambos tratamientos de nitrógeno.

CARACTERES	BAJO NITRÓGENO				NITRÓGENO NORMAL			
	MEDIA	ES	CV(%)	RANGO	MEDIA	ES	CV(%)	RANGO
PRO	2196,84	62,58	32,73%	703,81 - 4079,38	1979,80	57,76	33,52%	799,29 - 4951,73
FRU	1883,32	27,30	16,65%	1150,13 - 2726,30	2129,24	28,86	15,57%	1305,45 - 3424,67
GLU	1546,54	134,61	24,98%	704,89 - 2723,65	1836,76	36,28	22,69%	710,29 - 3056,08
CIT	679,31	20,99	35,50%	317,26 - 1728,23	635,69	20,81	37,61%	275,48 - 2134,64
MAL	131,11	3,90	34,21%	49,41 - 337,86	136,10	3,85	32,52%	66,91 - 279,08
LIC	0,80	0,03	42,52%	0,19 - 1,95	0,76	0,03	50,01%	0,08 - 1,82
BCA	0,35	0,01	34,02%	0,10 - 0,74	0,32	0,01	33,53%	0,10 - 0,70
CAT	1,54	0,05	40,37%	0,41 - 3,54	1,46	0,06	46,27%	0,19 - 3,18
VIC	26,82	0,53	22,77%	12,04 - 62,15	28,72	0,54	21,54%	13,79 - 44,46
AOT	1154,13	17,45	17,37%	460,34 - 2057,57	3041,07	41,21	15,57%	2184,87 - 4345,73
SS	5,54	0,06	13,23%	3,15 - 6,90	5,68	0,08	16,52%	3,00 - 7,95
AcT	0,59	0,02	37,62%	0,27 - 2,16	0,58	0,01	28,28%	0,31 - 1,06
pH	4,13	0,02	6,42%	3,70 - 5,49	4,11	0,02	6,11%	3,64 - 5,08
F/G	1,26	0,02	18,38%	0,82 - 2,46	1,19	0,02	17,69%	0,93 - 2,34
F+G	3429,86	57,93	19,41%	2048,49 - 5111,67	3966,00	62,07	17,98%	2252,40 - 6480,75
C/M	5,72	0,23	46,20%	1,93 - 12,96	5,05	0,19	43,44%	2,17 - 11,76
C+M	810,42	21,98	31,16%	434,71 - 1912,10	771,79	22,17	33,00%	390,74 - 2413,72
AZ/AC	4,63	0,40	37,01%	1,92 - 9,58	5,55	0,15	31,32%	1,66 - 10,87
SS/AcT	10,47	0,30	32,87%	2,16 - 24,26	10,62	0,29	31,36%	4,28 - 20,44

En cuanto a la heredabilidad (Tabla 10), los caracteres que presentaron valores más altos fueron: la relación entre el contenido en ácido cítrico y ácido málico (0,65), el contenido en ácido málico (0,50) y el contenido en sólidos solubles (0,39). Por el contrario, los caracteres que presentaron menor heredabilidad fueron el contenido en licopeno (0,00), β -caroteno (0,07) y carotenoides totales (0,00). Los valores bajos en heredabilidad para el contenido en carotenoides están relacionados con la interacción entre genotipo y tratamientos. Podemos decir que existe una fuerte influencia del ambiente sobre estos caracteres por lo que la selección de accesiones para este carácter no sería eficaz.

Tabla 10: ANOVAs y valores heredabilidades de los caracteres de calidad para el tratamiento de bajo nitrógeno, nitrógeno normal y ambos tratamientos.

Caracteres	Bajo Nitrógeno		Nitrógeno Normal		Bajo Nitrógeno + Nitrógeno Normal						
	Genotipo	P-value	Genotipo	P-value	Genotipo	P-value	Tratamiento	P-value	GxT	P-value	H ²
PRO	2,07**	0,002	2,44***	0,000	3,64***	0,000	ns	0,463	ns	0,756	0,33
FRU	2,89***	0,000	2,27***	0,001	3,83***	0,000	53,14**	0,002	ns	0,162	0,28
GLU	3,28***	0,000	2,57***	0,000	4,40***	0,000	10,96*	0,030	ns	0,090	0,31
CIT	3,36***	0,000	2,72***	0,000	4,77***	0,000	ns	0,507	ns	0,122	0,34
MAL	4,89***	0,000	3,68***	0,000	7,36***	0,000	ns	0,161	ns	0,320	0,50
LIC	1,57*	0,039	2,44***	0,000	1,80**	0,004	ns	0,562	2,23***	0,000	0,00
BCA	2,26***	0,001	2,49***	0,000	2,69***	0,000	ns	0,197	2,04**	0,001	0,07
CAT	1,68*	0,021	2,49***	0,000	1,92**	0,002	ns	0,445	2,29***	0,000	0,00
VIC	1,73*	0,016	1,57*	0,040	2,39***	0,000	ns	0,394	ns	0,625	0,20
AOT	6,07***	0,000	2,93***	0,000	4,24***	0,000	963,66***	0,000	2,25***	0,000	0,19
SS	2,71***	0,000	2,85***	0,000	4,65***	0,000	ns	0,443	ns	0,585	0,39
AcT	2,01**	0,003	2,38***	0,000	3,28***	0,000	ns	0,865	ns	0,533	0,28
pH	1,58*	0,037	2,02**	0,003	2,26***	0,000	ns	0,438	ns	0,128	0,13
F/G	3,14***	0,000	2,79***	0,000	3,83***	0,000	ns	0,311	2,13***	0,000	0,17
F+G	3,14***	0,000	2,43***	0,000	4,19***	0,000	24,21**	0,008	ns	0,138	0,31
C/M	6,62***	0,000	6,85***	0,000	12,38***	0,000	ns	0,192	ns	0,419	0,65
C+M	2,86***	0,000	2,28***	0,001	3,83***	0,000	ns	0,571	ns	0,122	0,28
AZ/AC	3,69***	0,000	2,11**	0,002	4,61***	0,000	ns	0,862	ns	0,563	0,38
SS/AcT	2,46***	0,000	2,15***	0,001	3,74***	0,000	ns	0,197	ns	0,703	0,33

ns: no significativo; *: significativo $p \leq 0,05$; **: significativo $p \leq 0,01$; ***: significativo $p \leq 0,001$

El análisis de correlación en ambos tratamientos mostró que muchas de las características estudiadas se encontraban correlacionadas y que estas correlaciones se mantuvieron en la mayoría de los casos para ambos tratamientos (Tabla 11).

Para los azúcares las correlaciones se mantuvieron en ambos tratamientos. En ambos casos se observaron fuertes correlaciones positivas entre fructosa y glucosa. El coeficiente de correlación de Pearson entre los contenidos de ambos azúcares fue 0,79 para BN y 0,84 para NN siendo significativas ($P < 0,05$) en los dos casos. Se presentaron, además, correlaciones positivas entre el contenido de fructosa, glucosa y el total de glucosa y fructosa, con el contenido en sólidos solubles. Nuevamente las correlaciones fueron mayores para el tratamiento de NN. La correlación entre sólidos solubles y el contenido de fructosa y glucosa interesa, ya que los sólidos solubles son más fáciles y económicos de

medir y puede ser usado para la selección cuando tenemos un número muy elevado de genotipos que fenotipar. En cuanto a la relación entre fructosa y glucosa, es preferible el contenido en fructosa por su mayor efecto edulcorante respecto a la glucosa, la proporción habitual en frutos maduros es de 1:1 (Yilmaz, 2001).

En ambos tratamientos, el contenido en licopeno mostró una correlación positiva con el contenido de β -caroteno, a su vez, ambos estuvieron correlacionados positivamente con el contenido total de carotenoides, siendo mayor la correlación del contenido en licopeno, en comparación al contenido de β -caroteno, indicando que el contenido de licopeno tiene un mayor impacto en el contenido de carotenoides totales que el del β -caroteno. Se observó también, una correlación positiva con el ácido málico para ambos tratamientos, que se mantuvo igual (0,37). Una entrada a resaltar para el contenido en β -caroteno y licopeno fue PG1, ya que tanto en el tratamiento de BN como en el de NN presentó elevado contenido en estas características.

Por otra parte, el contenido en antioxidantes totales mostró una correlación significativa positiva con el contenido en fructosa y glucosa en ambos tratamientos, también mostró una elevada correlación positiva con el contenido en sólidos solubles, siendo mayor en el tratamiento de nitrógeno normal. La correlación positiva entre el contenido en sólidos solubles y el contenido en antioxidantes también se presentó en un estudio de caracterización de variedades tradicionales '*De Penjar*' y tipos Cherry (Figàs *et al.*, 2015), en donde se analizaron parámetros de calidad de los frutos.

Para la vitamina C, se puede destacar la correlación significativa que se mostró con el contenido en fructosa, glucosa y el total de ambos, en el tratamiento de NN. En el tratamiento BN a pesar de que se perdió la correlación entre el contenido en vitamina C y la glucosa, se mantuvo la correlación con la fructosa y el total de fructosa y glucosa. También en ambos tratamientos hubo una correlación entre la vitamina C y los sólidos solubles totales. Esta correlación entre vitamina C y sólidos solubles también se observó en el estudio de Figàs *et al.* (2015). El ácido ascórbico es considerado importante para la nutrición (Vilter, 1980; Frankel, 1989; Johnston *et al.*, 2007). Sin embargo, determinar el contenido

de este carácter en el fruto es complicado en comparación a la determinación del contenido en sólidos solubles. La correlación positiva existente entre el contenido en sólidos solubles con el de la vitamina C es importante porque brinda la posibilidad de poder seleccionar a favor de un mayor contenido en sólidos solubles y posiblemente un mayor contenido en ácido ascórbico.

La relación azúcares/ácidos y sólidos solubles/acidez total, mostraron estar igual de correlacionados en ambos casos (0,62). A su vez se observa correlación entre la relación AZ/AC y SS/AcT con el contenido de antioxidantes totales para el tratamiento de NN. Esta correlación muestra una relación entre el contenido total de antioxidantes con el sabor del fruto ya que la relación AZ/AC y SS/AcT son consideradas características importantes en la percepción del sabor. Estos resultados son similares a los obtenidos por Figàs *et al.* (2015) en la que también se observó una correlación significativamente positiva entre el contenido de antioxidantes con el índice de sabor el cual se determinó por medio de la relación entre el contenido en sólidos solubles y la acidez titulable.

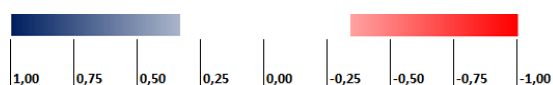
Por último, se presentó una correlación negativa del rendimiento con el contenido en sólidos solubles en ambos tratamientos. Se puede observar que la correlación para el tratamiento de NN es de -0,25 y para BN es de -0,47, intensificándose en este último, posiblemente por la menor disponibilidad de nitrógeno en el suelo. La correlación negativa entre el contenido en sólidos solubles y los rendimientos concuerda con resultados obtenidos previamente en otras investigaciones (Saliba-Colombani *et al.*, 2001; Patanè y Cosentino, 2010).

De manera general se puede indicar que a pesar de que las correlaciones en la mayoría de los casos se mantienen para ambos tratamientos, en el caso del tratamiento NN las correlaciones muestran una tendencia a ser mayores.

Tabla 11: Correlaciones de Pearson correspondiente a los caracteres de calidad y producción en el tratamiento de bajo nitrógeno y de nitrógeno normal.

BAJO NITRÓGENO																				
	PRO	FRU	GLU	CIT	MAL	LIC	BCA	CAT	VIC	AOT	SSC	AcT	pH	F+G	F/G	C+M	C/M	AZ/AC	SS/AcT	
PRO																				
FRU	0.00																			
GLU	0.04	0.79																		
CIT	-0.12	0.03	-0.20																	
MAL	0.02	-0.02	-0.15	-0.03																
LIC	0.01	0.08	-0.19	0.16	0.22															
BCA	0.12	0.03	-0.19	0.06	0.37	0.81														
CAT	0.04	0.06	-0.21	0.15	0.26	0.99	0.87													
VIC	0.01	0.44	0.26	0.26	0.01	0.29	0.16	0.27												
AOT	0.02	0.33	0.39	-0.16	0.10	0.25	0.20	0.24	0.08											
SSC	-0.47	0.59	0.65	-0.08	-0.16	-0.22	-0.35	-0.27	0.30	0.37										
AcT	0.03	-0.06	-0.30	0.74	0.03	0.23	0.07	0.21	0.17	-0.11	-0.17									
pH	0.03	0.12	0.09	-0.40	0.17	-0.21	-0.15	-0.21	0.12	-0.16	0.10	-0.46								
F+G	0.02	0.93	0.96	-0.11	-0.10	-0.08	-0.10	-0.10	0.36	0.38	0.66	-0.20	0.11							
F/G	-0.10	-0.25	-0.78	0.31	0.19	0.38	0.30	0.38	0.04	-0.26	-0.38	0.41	-0.02	-0.58						
C+M	-0.11	0.03	-0.23	0.98	0.17	0.20	0.13	0.20	0.25	-0.14	-0.11	0.74	-0.36	-0.12	0.35					
C/M	-0.09	0.04	-0.04	0.70	-0.71	-0.01	-0.21	-0.05	0.18	-0.16	0.03	0.52	-0.41	-0.01	0.10	0.56				
AZ/AC	0.06	0.22	0.33	-0.44	-0.17	-0.16	-0.06	-0.16	-0.01	0.17	0.32	-0.50	0.32	0.30	-0.22	-0.46	-0.24			
SS/AcT	-0.13	0.26	0.49	-0.69	-0.06	-0.24	-0.15	-0.24	0.09	0.18	0.50	-0.87	0.50	0.41	-0.47	-0.69	-0.48	0.62		

NITRÓGENO NORMAL																				
	PRO	FRU	GLU	CIT	MAL	LIC	BCA	CAT	VIC	AOT	SSC	AcT	pH	F+G	F/G	C+M	C/M	AZ/AC	SS/AcT	
PRO																				
FRU	-0.12																			
GLU	-0.18	0.84																		
CIT	-0.01	0.06	0.01																	
MAL	0.13	0.09	0.03	0.03																
LIC	0.11	0.07	-0.09	0.22	0.19															
BCA	0.37	-0.04	-0.27	0.32	0.37	0.78														
CAT	0.15	0.05	-0.13	0.24	0.22	1.00	0.83													
VIC	-0.02	0.53	0.54	0.08	0.08	0.24	0.13	0.23												
AOT	-0.35	0.52	0.58	-0.16	0.22	-0.20	-0.25	-0.21	0.29											
SSC	-0.25	0.66	0.69	0.05	-0.10	-0.13	-0.27	-0.16	0.46	0.63										
AcT	-0.15	-0.14	0.03	0.59	-0.16	-0.07	-0.10	-0.07	-0.32	-0.04	0.05									
pH	0.20	0.28	0.07	-0.40	0.33	0.15	0.20	0.16	0.37	0.27	0.11	-0.68								
F+G	-0.16	0.95	0.97	0.03	0.06	-0.02	-0.18	-0.05	0.56	0.58	0.70	-0.05	0.17							
F/G	0.13	-0.24	-0.71	0.02	0.08	0.20	0.41	0.23	-0.32	-0.29	-0.37	-0.23	0.24	-0.52						
C+M	0.01	0.07	0.01	0.98	0.23	0.25	0.38	0.28	0.02	-0.11	0.02	0.55	-0.32	0.04	0.04					
C/M	-0.15	-0.03	0.01	0.69	-0.67	0.00	-0.08	-0.01	-0.08	-0.27	0.10	0.57	-0.55	-0.01	-0.08	0.54				
AZ/AC	-0.08	0.49	0.55	-0.76	-0.15	-0.17	-0.34	-0.21	0.34	0.45	0.37	-0.50	0.37	0.55	-0.34	-0.77	-0.47			
SS/AcT	0.02	0.50	0.37	-0.44	0.05	0.01	-0.06	0.00	0.55	0.40	0.51	-0.81	0.65	0.45	-0.01	-0.42	-0.39	0.62		



Por medio de la comparación de medias, se analizaron las diferencias entre los controles y las variedades tradicionales para ambos tratamientos (Tabla 12). Uno de los factores más importantes a considerar para los productores, son los rendimientos. En este caso a pesar de que los controles fueron conformados por híbridos comerciales conocidos por tener elevados rendimientos no se observó diferencias significativas para esta característica, lo que muestra un elevado potencial de las variedades tradicionales para formar parte del mercado productivo, sobre todo en sistemas de agricultura ecológica.

Para los caracteres relacionados con el contenido en azúcares, se encontraron diferencias significativas entre los controles y las variedades tradicionales para: el contenido en fructosa, sólidos solubles, relación entre el contenido de azúcares con el contenido de ácidos orgánicos y la relación entre el contenido de sólidos solubles con la acidez total. Presentando en todos los casos medias superiores en las variedades tradicionales en comparación con los controles. En general, el mayor contenido en azúcares y sólidos solubles puede explicar el por qué usualmente se perciben los frutos de variedades tradicionales como de mejor calidad y sabor que los híbridos comerciales (Casals *et al.*, 2011). De igual manera, las relaciones AZ/AC y SS/ACT, fueron superiores en las variedades tradicionales, mostrando que en general, las variedades tradicionales presentaron un mayor dulzor y menor acidez en comparación a los controles. Una elevada relación entre el contenido de azúcares y ácidos orgánicos no necesariamente representa una mayor calidad en sabor, ya que qué en cierta medida depende del mercado y gusto del consumidor. Sin embargo, en general son más aceptadas las relaciones más altas, que representan mayor contenido en azúcares y menor contenido en ácidos orgánicos (Malundo *et al.*, 1995).

También se encontraron diferencias significativas para la acidez total y el pH en este caso, los controles presentaron mayores valores de acidez total y un menor pH (más ácido) en comparación con las variedades tradicionales. Se puede observar que a pesar de que no existen diferencias significativas para el contenido en ácido cítrico, ácido málico y su total, se observa que el contenido de estos es mayor en los controles en comparación a las variedades tradicionales, mostrando una tendencia de los controles a presentar una mayor acidez.

Por último, se observaron diferencias significativas en el contenido en licopeno, total de carotenoides, y vitamina C. En este caso, la media fue mayor para los tres caracteres en las variedades tradicionales. Estos caracteres son considerados importantes por sus funciones nutricionales mencionadas anteriormente. Es interesante que las variedades tradicionales además de presentar mayores valores en el contenido de características ligadas al sabor también presentarían un mejor perfil nutricional. Se ha observado en otras investigaciones como las variedades locales presentan mayores valores en el contenido de características nutricionales en comparación a variedades comerciales (Ruiz *et al.*, 2004; Méndez *et al.*, 2011).

Tabla 12: Comparación de medias para todos los caracteres entre los controles y las variedades tradicionales.

CARACTERES	CONTROLES	V. TRADICIONALES	T-STUDENT	P-VALUE
	MEDIA	MEDIA		
PRO	2045,29	2093,84	-0,358	0,721
FRU	1846,29	2026,79	-2,732	0,007**
GLU	1543,57	1885,93	-1,169	0,243
CIT	684,68	654,02	0,656	0,512
MAL	140,26	132,75	0,868	0,386
LIC	0,61	0,80	-2,802	0,005**
BCA	0,30	0,33	-1,414	0,158
CAT	1,21	1,54	-2,602	0,010**
VIC	22,64	28,43	-5,020	0,000***
AOT	1999,66	2110,16	-0,562	0,575
SS	5,25	5,66	-2,558	0,011*
AcT	0,65	0,57	2,166	0,031*
pH	4,01	4,13	-2,576	0,011*
F/G	1,25	1,21	0,779	0,437
F+G	3389,86	3912,72	-1,696	0,091
C/M	5,31	5,39	-0,171	0,864
C+M	824,93	786,77	0,775	0,439
AZ/AC	4,32	5,41	-2,130	0,034*
SS/AcT	8,18	10,85	-4,197	0,000***

El resultado del análisis de componentes principales (ACP), permitió observar la distribución de las entradas según los caracteres evaluados de una forma rápida y visual (Figura 13). La componente principal 1, explicó el 30,21% de la variación observada en la colección probada y la componente principal 2, el 18,79%. Los tres caracteres que afectaron más positivamente a la componente 1, fueron la relación entre fructosa y glucosa, el contenido en ácido cítrico, y el total del contenido en ácido cítrico y ácido málico; los tres caracteres que más afectaron de forma negativa fueron el contenido en glucosa, el total del contenido de fructosa y glucosa y la relación entre sólidos solubles y la acidez total. Para la componente 2, los tres caracteres que más influyeron positivamente fueron el pH, la relación entre sólidos solubles y acidez total, y los rendimientos; y los tres que afectaron de forma negativa, el contenido en ácido cítrico, la relación entre el ácido cítrico y el ácido málico, y el total del contenido en ácido cítrico y ácido málico.

En la ACP se observó una distribución amplia de las entradas sin agrupaciones evidentes (Figura 13). Las variedades tradicionales y los controles se distribuyeron de forma similar. Tampoco se observaron agrupaciones diferenciadas por tratamientos, salvo algunas excepciones. Esta distribución muestra la variabilidad que presentaron las entradas estudiadas.

En algunos casos el tratamiento de nitrógeno normal provocó que ciertas entradas destacaran para algunas características. Por ejemplo, las entradas FA2, LL1, MT1, y TR1, destacaron por su mayor contenido en ácido cítrico, total de ácidos orgánicos, acidez total y elevada relación entre ácido cítrico y ácido málico (Figura 13, resaltado en rojo). Bajo condiciones de bajo nitrógeno, estas entradas se distribuyen de forma diferente, por lo que fueron afectadas por el tratamiento. Para este mismo tratamiento las entradas AC1 y XA2, destacaron por su mayor valor en la relación en contenido de azúcares y ácidos orgánicos; y en la relación de sólidos solubles y acidez total (Figura 13, resaltado en azul).

Por otra parte, las entradas XE1 y LA2 en nitrógeno normal y TE2, SN2 y CO1 para bajo nitrógeno destacaron por su elevado contenido en azúcares y vitamina C (Figura 13,

resaltado en verde). Destaca también la entrada UV1 en bajo nitrógeno, por su contenido en carotenoides.

Por último, resalta la entrada VH2, ya que esta se mantuvo más próxima en ambos tratamientos (Figura 13, resaltado en amarillo), esto es algo de bastante interés ya que muestra que la entrada se comportó de forma similar a pesar de la reducción de la reducción en el suministro de nitrógeno.



Figura 13: Análisis de componentes principales de las entradas para los caracteres de calidad y producción para ambos tratamientos.

La gráfica de pesos (Figura 14) de los caracteres para el análisis de componentes principales muestra que existe relación entre el contenido en ácido cítrico, la suma y relación del ácido cítrico y el málico y el porcentaje de acidez total, por otra parte, se

observa una relación entre el contenido en fructosa, glucosa, la suma de ambos, el contenido en solidos solubles, el contenido en antioxidantes totales y vitamina C. Otro grupo relacionado es el de los carotenoides, y la relación entre el contenido de fructosa y glucosa. Por último, se observa una relación entre las características relación contenido en azúcares y contenido en ácidos orgánicos con la relación entre solidos solubles y acidez total.

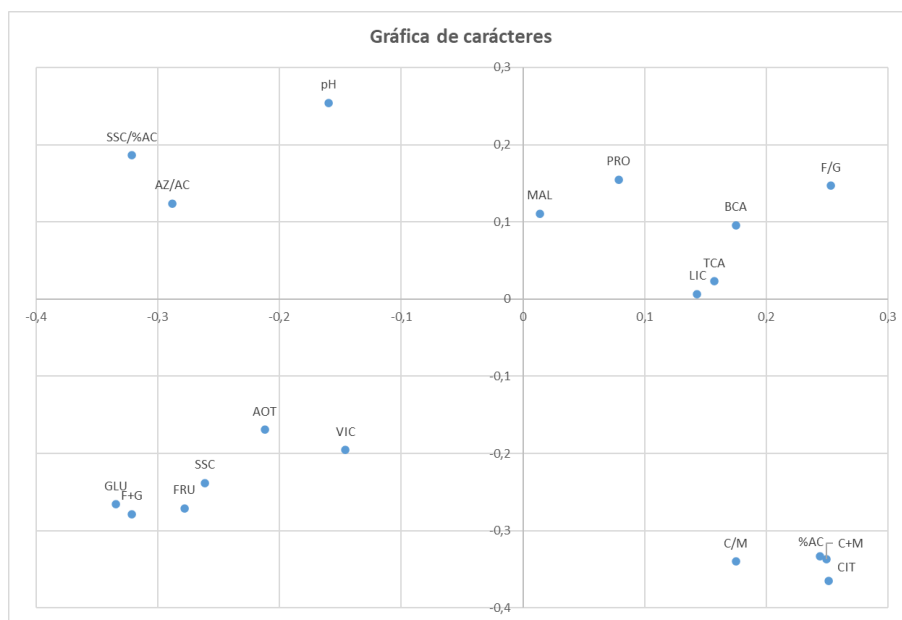


Figura 14: Grafica de pesos de caracteres.

Ya que, a nivel de producción la principal característica valorada son los rendimientos, se generó una tabla de ranking para cada tratamiento (Tabla 13), utilizando las diez entradas con mayores rendimientos y analizando su posición para el resto de los caracteres interesantes a nivel de calidad organoléptica y nutricional.

De las diez entradas, seis se mantienen en ese rango para los dos tratamientos, siendo estas las variedades tradicionales AX1, FI1, MO1, MT1 y TR1, además del control C3. Que el rendimiento se mantenga del tratamiento en NN al tratamiento de BN es algo que interesa

en la selección para producción, ya que indica que la entrada se comporta de forma similar en cuanto a rendimiento con una menor dosis en nitrógeno.

Para el resto de las características resalta la variedad tradicional MT1, destacando por su contenido en ácido málico, licopeno y β -caroteno, para ambos tratamientos. Esto se corresponde con lo dicho anteriormente en el análisis de la PCA, donde la variedad MT1 destacaba por dichas características en su posición en la distribución junto con otras entradas. Además, su posición no varía mucho para el contenido en la suma de fructosa y glucosa, manteniéndose casi en la misma posición en ambos tratamientos.

La variedad MO1, destaca principalmente por su elevada relación en AZ/AC y SS/ACt, manteniéndose en ambos tratamientos entre las entradas con mayor índice. Como se mencionó anteriormente, suelen tener una mayor aceptación en sabor, frutos con una elevada relación entre azúcares y ácidos, además para el contenido de azúcares se mantiene en similares posiciones para ambos tratamientos, detectar variedades con buenos rendimientos que mantengan un contenido en azúcares similares en diferentes tratamientos es de bastante interés.

Por medio de este estudio podemos seleccionar algunas entradas interesantes para futuros programas de mejora respecto a diferentes características de calidad y aspectos nutricionales del fruto, bajo condiciones de reducción de aporte de nitrógeno, buscando reducir el impacto ambiental generado por la elevada aplicación de los fertilizantes, utilizando variedades que se comportan bien en estas condiciones.

También, permitió valorar mejor las variedades tradicionales al compararlas con los controles comerciales, ya que, de forma general, las variedades tradicionales obtuvieron mejores valores en la mayoría de los parámetros de calidad analizados sin haber presentado menores rendimientos. Es importante resaltar el esfuerzo que aún debe hacerse para conservarlas, ya que además de ser una importante fuente de germoplasma, presentan características interesantes para la mejora en la calidad del tomate. Así, las variedades

tradicionales son recursos que enriquecen tradicional y culturalmente a las diferentes comunidades a las que pertenecen, siendo además una oportunidad para los agricultores locales.

Tabla 13: Ranking descendente de las diferentes entradas tomando como base las diez entradas más productivas. Cada valor por carácter corresponde a la posición de la entrada entre el total (44).

Color según posición			
1-10	11-20	21-30	30-44

Nitrógeno Normal															
Entrada	PRO	FRU	GLU	CIT	MAL	LIC	BCA	CAT	VIC	AOT	SSC	% AC	pH	AZ/AC	SS/Act
FI1	1	37	39	10	4	10	1	8	24	42	39	28	3	41	32
MO1	2	13	14	16	7	18	16	17	1	12	16	44	1	16	1
AX1	3	38	38	39	26	27	28	28	22	39	43	31	21	21	26
TR1	4	42	40	44	25	19	14	18	32	43	42	20	28	18	30
C3	5	40	42	19	11	34	24	31	43	44	38	18	39	38	36
MT1	6	28	24	25	18	29	18	20	44	17	17	5	34	22	34
XE1	7	2	1	40	24	15	11	12	5	6	23	41	11	1	4
C4	8	31	26	32	21	30	27	30	38	34	37	11	23	17	39
CF3	9	32	34	42	20	7	6	7	34	33	34	40	14	11	17
AC1	10	20	36	35	35	13	21	13	33	41	19	39	15	13	8
Bajo Nitrógeno															
Entrada	PRO	FRU	GLU	CIT	MAL	LIC	BCA	CAT	VIC	AOT	SSC	% AC	pH	AZ/AC	SS/Act
TR1	1	38	33	40	20	17	4	18	38	40	42	42	12	17	17
MT1	2	12	19	32	7	2	1	30	29	1	33	12	43	14	38
FI1	3	39	43	7	2	30	27	8	16	44	41	1	39	43	42
MO2	4	21	37	33	30	9	14	20	18	43	44	20	1	28	36
C2	5	24	25	11	27	28	24	41	32	11	27	9	42	32	30
C1	6	2	3	14	34	21	19	37	36	4	22	7	38	15	39
MO1	7	30	10	41	5	36	23	17	30	24	23	43	5	6	2
CO1	8	31	20	29	36	34	36	30	39	39	25	34	24	18	17
C3	9	22	31	4	1	33	8	32	28	32	37	26	8	40	27
AX1	10	44	41	37	24	11	13	29	40	21	40	39	23	31	20

5.- CONCLUSIONES

- La colección de variedades locales evaluadas presentó entre genotipos diferencias significativas para todos los caracteres evaluados, mostrando la gran diversidad presente en la colección para los diferentes parámetros de calidad.
- Por medio de este estudio se observó que la reducción de nitrógeno si afectó algunos caracteres, siendo estos principalmente los relacionados al contenido en carbohidratos y antioxidantes, sin embargo, el resto de los caracteres relacionados con el sabor como la relación entre el contenido en azúcares y ácidos no se vio afectado, además de no reducirse los rendimientos ni caracteres considerados de alto valor nutricional.
- La fructosa y glucosa mostraron estar correlacionadas con el contenido de sólidos solubles, con la vitamina C y con el contenido total en antioxidantes. Este último a su vez mostró estar correlacionado positivamente con la relación entre el contenido en azúcares y el contenido de ácidos, una de las características principales del sabor. El licopeno mostró una correlación positiva con el β -caroteno. Por último, el rendimiento se correlacionó negativamente con el contenido en sólidos solubles.
- Al comparar las variedades tradicionales con los controles, las variedades tradicionales mostraron mejores parámetros de calidad y mayor contenido en caracteres nutricionales; ya que, existieron diferencias para el contenido de fructosa, sólidos solubles, la relación entre el contenido de azúcares y ácidos orgánicos, licopeno, total de carotenoides y vitamina C. Además, no se presentaron diferencias significativas para los rendimientos.
- Por medio del análisis de componentes se observó una distribución amplia de todas las entradas sin observarse agrupaciones evidentes. Sin embargo, pueden observarse algunas entradas que destacan por su mayor valor en diferentes características.

- Seis entradas se mantuvieron entre las más productivas en ambos tratamientos siendo las variedades tradicionales AX1, FI1, MO1, MT1 y TR1, y el control C3. De estas destacó MT1 por su contenido en ácido málico, licopeno y β -caroteno, y MO1 por su elevada relación entre el contenido en azúcares y ácidos orgánicos. Estas entradas son muy prometedoras para el cultivo en agricultura ecológica en condiciones de bajos insumos.

BIBLIOGRAFÍA

- Abushita, A., Hebshi, E., Daood, H. and Biacs, P., 1997. Determination of antioxidant vitamins in tomatoes. *Food Chemistry*, 60(2), pp.207-212.
- Alcubierre Pueyo, L., 2016. *Caracterización Morfológica Y Agronómica De Una Colección De Variedades Tradicionales De Tomate Españolas*. Máster. Universitat Politècnica de València.
- Asociación “Tomata de penjar”, 2018. *La Asociación “Tomata De Penjar” Con Estos Tomates De Características Únicas*. [image] Available at: <<http://valenciafruits.com/un-tomate-que-resistira-mejor-los-virus/>> [Accessed 3 April 2020].
- Azeez, M., Adubi, A. and Durodola, F., 2018. Landraces and Crop Genetic Improvement. *Rediscovery of Landraces as a Resource for the Future*.
- Blanca, J., Cañizares, J., Cordero, L., Pascual, L., Diez, M. and Nuez, F., 2012. Variation Revealed by SNP Genotyping and Morphology Provides Insight into the Origin of the Tomato. *PLoS ONE*, 7(10), p.e48198.
- Beckles, D., 2012. Factors affecting the postharvest soluble solids and sugar content of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 63(1), pp.129-140.
- Bénard, C., Gautier, H., Bourgaud, F., Grasselly, D., Navez, B., Caris-Veyrat, C., Weiss, M. and Génard, M., 2009. Effects of Low Nitrogen Supply on Tomato (*Solanum lycopersicum*) Fruit Yield and Quality with Special Emphasis on Sugars, Acids, Ascorbate, Carotenoids, and Phenolic Compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(10), pp.4112-4123.
- Boe.es. 2018. *BOE.Es - Agencia Estatal Boletín Oficial Del Estado*. [online] Available at: <<https://www.boe.es/>> [Accessed 2 August 2020].
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. and Berset, C., 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food science and Technology*, 28(1), pp.25-30.
- Casals Missio, J., 2012. *Filogènia I Variabilitat Genètica De Les Varietats Tradicionals De Tomàquet (Solanum Lycopersicum L.) Montserrat/Pera De Girona I Penjar: Estratègies Per*

A La Millora De La Seva Qualitat Organolèptica. Doctorado. Universitat Politècnica de Catalunya.

Casals, J., Pascual, L., Cañizares, J., Cebolla-Cornejo, J., Casañas, F. and Nuez, F., 2011. Genetic basis of long shelf life and variability into Penjar tomato. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 59(2), pp.219-229.

Casals, J., Pascual, L., Cañizares, J., Cebolla-Cornejo, J., Casañas, F. and Nuez, F., 2011. The risks of success in quality vegetable markets: Possible genetic erosion in Marmande tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.) and consumer dissatisfaction. *Scientia Horticulturae*, 130(1), pp.78-84.

Cebolla-Cornejo, J., 2005. *Recuperación De Variedades Tradicionales De Tomate Y Pimiento. Caracterización Y Mejora Genética*. Tesis Doctoral. Universitat Politècnica de València.

Cebolla-Cornejo, J., Roselló, S. and Nuez, F., 2013. Phenotypic and genetic diversity of Spanish tomato landraces. *Scientia Horticulturae*, 162, pp.150-164.

Chebrolu, K., Jayaprakasha, G., Yoo, K., Jifon, J. and Patil, B., 2012. An improved sample preparation method for quantification of ascorbic acid and dehydroascorbic acid by HPLC. *LWT*, 47(2), pp.443-449.

Conesa, M., Fullana-Pericàs, M., Granell, A. and Galmés, J., 2020. Mediterranean Long Shelf-Life Landraces: An Untapped Genetic Resource for Tomato Improvement. *Frontiers in Plant Science*, 10.

Cortés Olmos, C., 2015. *Puesta En Valor De Variedades Tradicionales De Tomate*. Tesis doctoral no publicada. Universitat Politècnica de València.

Crison Instruments, 2011. *PH-Matic 23_ Tomate*. [image] Available at: <<http://www.crisoninstruments.com/es/laboratorio/especificos/conservas/analizador-ph-y-acidez-en-conservas-ph-matic-23>> [Accessed 2 May 2020].

Eugercios Silva, A., Álvarez Cobelas, M. and Montero González, E., 2017. Impactos del nitrógeno agrícola en los ecosistemas acuáticos. *Ecosistemas*, 26(1), pp.37-44.

Fao.org. 2020. FAOSTAT. [online] Available at: <<http://www.fao.org/faostat/es/#home>> [Accessed 2 August 2020].

Fernández-Ruiz, V., Sánchez-Mata, M., Cámara, M., Torija, M., Chaya, C., Galiana-Balaguer, L., Roselló, S. and Nuez, F., 2004. Internal Quality Characterization of Fresh Tomato Fruits. *HortScience*, 39(2), pp.339-345.

Figàs, M., Prohens, J., Raigón, M., Fita, A., García-Martínez, M., Casanova, C., Borràs, D., Plazas, M., Andújar, I. and Soler, S., 2015. Characterization of composition traits related to organoleptic and functional quality for the differentiation, selection and enhancement of local varieties of tomato from different cultivar groups. *Food Chemistry*, 187, pp.517-524.

Frankel, E., n.d. The Antioxidant and Nutritional Effects of Tocopherols, Ascorbic Acid and β -Carotene in Relation to Processing of Edible Oils. *Forum of Nutrition*, pp.297-312.

Fullana-Pericàs, M., Conesa, M., Soler, S., Ribas-Carbo, M., Granell, A. and Galmes, J., 2017. Variations of leaf morphology, photosynthetic traits and water-use efficiency in Western-Mediterranean tomato landraces. *Photosynthetica*, 55(1), pp.121-133.

Gey, K. and Puska, P., 1989. Plasma Vitamins E and A Inversely Correlated to Mortality from Ischemic Heart Disease in Cross-Cultural Epidemiology. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 570(1 Vitamin E), pp.268-282.

González Ulibarry, P., 2019. *Consecuencias Ambientales De La Aplicación De Fertilizantes*. [ebook] Santiago Chile: Biblioteca del Congreso Nacional de Chile/ BCN. Available at: <https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/27059/1/Consecuencias_ambientales_de_la_aplicacion_de_fertilizantes.pdf> [Accessed 3 August 2020].

Guida, G., Sellami, M., Mistretta, C., Oliva, M., Buonomo, R., De Mascellis, R., Patanè, C., Roupheal, Y., Albrizio, R. and Giorio, P., 2017. Agronomical, physiological and fruit quality

responses of two Italian long-storage tomato landraces under rain-fed and full irrigation conditions. *Agricultural Water Management*, 180, pp.126-135.

HANNA Instruments, n.d. *Refractómetro Digital %Brix*. [image] Available at: <https://www.hannainst.es/parametros/4927-refractometro-digital-brix.html#/535-rango-0_a_85_brix> [Accessed 2 May 2020].

Heeb, A., Lundegårdh, B., Savage, G. and Ericsson, T., 2006. Impact of organic and inorganic fertilizers on yield, taste, and nutritional quality of tomatoes. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 169(4), pp.535-541.

Hu, G. and Cassano, P., 2000. Antioxidant Nutrients and Pulmonary Function: The Third National Health and Nutrition Examination Survey (NHANES III). *American Journal of Epidemiology*, 151(10), pp.975-981.

Icex.es. 2020. *ICEX España Exportación E Inversiones, E.P.E, M.P >> Estadísticas Españolas De Comercio Exterior*. [online] Available at: <<https://www.icex.es/icex/es/navegacion-principal/todos-nuestros-servicios/informacion-de-mercados/estadisticas/sus-estadisticas-a-medida/estadisticas-espanolas-estacom/index.html>> [Accessed 2 August 2020].

Jenkins, J., 1948. The origin of the cultivated tomato. *Econ Bot*, [online] 2, pp.379–392. Available at: <<https://link.springer.com/article/10.1007/BF02859492#citeas>> [Accessed 15 May 2020].

Johnston, C., Steinberg, F. and Rucker, R., 2007. Ascorbic Acid. In: J. Zempleni, R. Rucker, D. McCormick and J. Suttie, ed., *Handbook of Vitamins*, 4th ed. Florida: Taylor & Francis Group, pp.489-520.

Lara Minda, M., 2017. *Caracterización Morfológica Y Agronómica De Una Colección De Variedades De Tomate Y Pimiento De La Comarca De La Vall D Albaida*. Máster. Universitat Politècnica de València.

- Larín, M., Díaz, L. and Flor de Serrano, R., 2019. *Guía Técnica, Cultivo De Tomate*. [ebook] Centro Nacional de Tecnología Agro-pecuaria y Forestal CENTA. Available at: <http://centa.gob.sv/docs/guias/hortalizas/Guia%20Centa_Tomate%202019.pdf> [Accessed 2 August 2020].
- León, J., 1987. *Botánica De Los Cultivos Tropicales*. San José: IICA.
- López Marín, L., 2016. *Manual Técnico Del Cultivo De Tomate*. [ebook] San José: Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria. INTA. Available at: <<http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-10921.pdf>> [Accessed 2 August 2020].
- Maestre Alfonso, J., Casas Gragea, A. and González Jacome, A., 2008. *Nuevas Rutas Para El Desarrollo En América Latina*. México, D.F.: Universidad Iberoamericana.
- Malundo, T., Shewfelt, R. and Scott, J., 1995. Flavor quality of fresh tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) as affected by sugar and acid levels. *Postharvest Biology and Technology*, 6(1-2), pp.103-110.
- Mapa.gob.es. 2020. *Ministerio De Agricultura, Pesca Y Alimentación*. [online] Available at: <<https://www.mapa.gob.es/es/>> [Accessed 2 August 2020].
- Méndez I, I., Vera G, A., Chávez S, J. and Carrillo R, J., 2011. Quality of fruits in Mexican tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) landraces. *Vitae*, 18(1), pp.26-32.
- Mercati, F., Longo, C., Poma, D., Araniti, F., Lupini, A., Mammano, M., Fiore, M., Abenavoli, M. and Sunseri, F., 2014. Genetic variation of an Italian long shelf-life tomato (*Solanum lycopersicon* L.) collection by using SSR and morphological fruit traits. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 62(5), pp.721-732.
- Nesbitt, T. and Tanksley, S., 2002. Comparative Sequencing in the Genus *Lycopersicon*: Implications for the Evolution of Fruit Size in the Domestication of Cultivated Tomatoes. *GENETICS*, 162(1), pp.365-379.

- Patanè, C. and Cosentino, S., 2010. Effects of soil water deficit on yield and quality of processing tomato under a Mediterranean climate. *Agricultural Water Management*, 97(1), pp.131-138.
- Peralta, I. and Spooner, D., 2000. Classification of Wild Tomatoes: a Review. *Kurtziana*, 28(1), p.45.
- Peralta, I., Knapp, S. and Spooner, D., 2006. *Nomenclature for wild and cultivated tomatoes*. [online] Tomato Genetics Cooperative. University of Florida. Available at: <<https://tgc.ifas.ufl.edu/>> [Accessed 2 August 2020].
- Petro-Turza, M., 1986. Flavor of tomato and tomato products. *Food Reviews International*, 2(3), pp.309-351.
- Petyaev, I., 2016. Lycopene Deficiency in Ageing and Cardiovascular Disease. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2016, pp.1-6.
- Rick, C., 1978. The Tomato. *Scientific American*, [online] 239(2), pp.76-89. Available at: <<https://www.jstor.org/stable/24960356>> [Accessed 5 May 2020].
- Roselló, S. and Nuez, F., 2006. Mejora de la calidad del tomate para fresco. In: G. Llácer, M. Díez, J. Carrillo and M. Badenes, ed., *Mejora Genética de la Calidad en Plantas*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, pp.333-359.
- Ross, A. and Harrison, E., 2007. Vitamin A: Nutritional Aspects of Retinoids and Carotenoids. In: J. Zempleni, R. Rucker, D. McCormick and J. Suttie, ed., *Handbook of Vitamins*, 4th ed. Florida: Taylor & Francis Group, pp.1-40.
- Rousseaux, M., Jones, C., Adams, D., Chetelat, R., Bennett, A. and Powell, A., 2005. QTL analysis of fruit antioxidants in tomato using *Lycopersicon pennellii* introgression lines. *Theoretical and Applied Genetics*, 111(7), pp.1396-1408.
- Ruiz, J., Alonso, A., García-Martínez, S., Valero, M., Blasco, P. and Ruiz-Bevia, F., 2004. Quantitative analysis of flavour volatiles detects differences among closely related

- traditional cultivars of tomato. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85(1), pp.54-60.
- Sainju, U., Dris, R. and Singh, B., 2003. Mineral nutrition of tomato. *Food, Agriculture & Environment*, 1(2), pp.176-183.
- Saliba-Colombani, V., Causse, M., Langlois, D., Philouze, J. and Buret, M., 2001. Genetic analysis of organoleptic quality in fresh market tomato. 1. Mapping QTLs for physical and chemical traits. *Theoretical and Applied Genetics*, 102(2-3), pp.259-272.
- Soler Alexandre, S.; Figás Moreno, MDR.; Prohens Tomás, J.,2017. *I Congrés de la tomaca valenciana. La tomaca valenciana d'El Perelló*. Universitat Politècnica de València.
- SP SCIENTIFIC, n.d. *Genesis Pilot Lyophilizer*. [image] Available at: <https://www.spscientific.com/Products/Freeze_Dryers/_Lyophilizers/VirTis/Floor_Model_Tray/Pilot_Lyophilizers/Genesis_Pilot_Lyophilizer> [Accessed 2 May 2020].
- Stewart, A., Chapman, W., Jenkins, G., Graham, I., Martin, T. and Crozier, A., 2001. The effect of nitrogen and phosphorus deficiency on flavonol accumulation in plant tissues. *Plant, Cell and Environment*, 24(11), pp.1189-1197.
- Stout, M., Brovont, R. and Duffey, S., 1998. *Journal of Chemical Ecology*, 24(6), pp.945-963.
- Villarreal Romero, M., García Estrada, R., Onsuna Enciso, T. and Armenta Bojorquez, A., 2002. Efecto de dosis y fuente de nitrógeno en rendimiento y calidad postcosecha de tomate en fertirriego. *Terra Latinoamericana*, 20(3), pp.311-320.
- Vilter, R., 1980. Nutritional aspects of ascorbic acid: uses and abuses. *Western Journal of Medicine*, 133(6), p.485.
- Wang, Y., Huang, S., Liu, R. and Jin, J., 2007. Effects of nitrogen application on flavor compounds of cherry tomato fruits. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 170(4), pp.461-468.

- Wei, Z., Du, T., Li, X., Fang, L. and Liu, F., 2018. Interactive Effects of Elevated CO₂ and N Fertilization on Yield and Quality of Tomato Grown Under Reduced Irrigation Regimes. *Frontiers in Plant Science*, 9.
- Wilkins, R., Spoerke, J. and Stamp, N., 1996. Differential Responses of Growth and Two Soluble Phenolics of Tomato to Resource Availability. *Ecology*, 77(1), pp.247-258.
- Yilmaz, E., 2001. The chemistry of fresh tomato flavor. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 25(3), pp.149-155.
- Zscheile, F. and Porter, J., 1947. Analytical Methods for Carotenes of *Lycopersicon* Species and Strains. *Analytical Chemistry*, 19(1), pp.47-51.

ANEXOS

Anexo 1.

CARÁCTER	ABREVIATURA
Producción/planta (g)	PRO
mg Fructosa/100g PF	FRU
mg Glucosa/100g PF	GLU
mg Ácido cítrico/100g PF	CIT
mg Ácido málico/100g PF	MAL
mg Licopeno/100g PF	LIC
mg B-CAROTENE/100g PF	BCA
mg Carotenoides totales/100g PF	CAT
mg Vitamina C/100g PF	VIC
Antioxidantes totales μ mol ET/100g PF	AOT
°Brix	SS
Acidez total	AcT
pH	pH
Relación Fructosa/Glucosa	F/G
Fructosa + Glucosa (mg)	F+G
Relación Cítrico/málico	C/M
Cítrico + Málico (mg)	C+M
Relación (F+G)/(C+M)	FG/CM
Relación °Brix / acidez total	SS/AcT