

# UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA AGRONÓMICA Y DEL MEDIO  
NATURAL (ETSIAMN)



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## INFLUENCIA DE UN RÉGIMEN DE BAJOS INSUMOS EN EL CULTIVO DE 25 VARIETADES DE TOMATE PARA EL CONTENIDO DE ÁCIDOS ORGÁNICOS Y AZÚCARES

TRABAJO FIN DE GRADO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LOS ALIMENTOS

Autora: Andrea Castillo Giménez

Tutora Académica: Mariola Plazas Ávila

Tutora experimental: Ana María Adalid Martínez

**CURSO 2020-2021**

Valencia, julio 2021

# **INFLUENCIA DE UN RÉGIMEN DE BAJOS INSUMOS EN EL CULTIVO DE 25 VARIEDADES DE TOMATE PARA EL CONTENIDO DE ÁCIDOS ORGÁNICOS Y AZÚCARES**

Autora: Andrea Castillo Giménez

Tutora: Mariola Plazas Ávila

Tutora experimental: Ana María Adalid Martínez

Valencia, julio 2021

## **RESUMEN**

El tomate es considerado una de las hortalizas más consumidas en todo el mundo y con un alto valor económico. Su demanda ha ido aumentando con el paso del tiempo y con ella su cultivo y posterior comercio. Una parte de la producción se destina al consumo en fresco, desempeñando una importante función en la dieta alimentaria al ser una de las fuentes de vitamina C, vitamina E y carotenoides más importantes. En el sector de la agricultura, el cultivo del tomate además tiene una gran repercusión directa en el mantenimiento del medio rural y el medio ambiente, donde además se pretende fomentar una agricultura competitiva, pero a la vez sostenible, de bajos insumos, obteniendo más con menos. Con el paso de las décadas, diferentes programas de mejora genética del tomate han sido sucediéndose, siendo algunos de ellos: mayor resistencia a plagas, mayor producción o mayor vida postcosecha del producto debido a la comercialización global de éste. Todos estos objetivos dejaban de lado la calidad organoléptica del producto, relacionada directamente con la cantidad de azúcares y ácidos presentes, que se vuelve a demandar actualmente en el mercado. Debido a ello, existen proyectos como el proyecto BRESOV, a nivel Europeo, que se han concebido con la intención de encontrar cultivos que se adapten a condiciones climatológicas nuevas en cortos plazos de tiempo (como problemas de sequía, poca fertilización, salinidad, altas temperaturas), para luchar frente nuevas plagas y enfermedades y además, tener en cuenta la reciente demanda de los consumidores, por productos con más sabor y ecológicos, con lo que los programas de mejora vegetal a nivel mundial han tenido que reinventarse.

El objetivo principal del presente trabajo de investigación se centra en la evaluación de la calidad organoléptica de 25 variedades de tomate estudiando su contenido en azúcares reductores (glucosa y fructosa) y los principales ácidos orgánicos presentes en el fruto (ácido málico y cítrico). También se evaluó la influencia del ambiente (las variedades ensayadas fueron cultivadas en Valencia, España y Nápoles, Italia) y la influencia de la escasez de nitrógeno y riego sobre los componentes estudiados.

Los resultados obtenidos muestran una gran variabilidad en el contenido de azúcares (glucosa y fructosa) y ácidos orgánicos (cítrico y málico) para las variedades estudiadas en este ensayo, distinguiendo perfectamente los perfiles más ácidos de los más dulces. Además, mostraron una clara influencia del ambiente en el que fueron cultivadas, dando perfiles significativamente más dulces en las variedades cultivadas en Italia. También se pudo observar cómo las concentraciones de azúcares y ácidos aumentan en condiciones de sequía, y se mantienen sin cambios significativos en las condiciones de menor fertilización y estándar.

**Palabras clave:** Tomate, bajos insumos, mejora vegetal, ácidos, azúcares, sostenibilidad

# **INFLUENCE OF A LOW INPUT REGIME IN THE CULTIVATION OF 25 TOMATO VARIETIES DUE TO THE CONTENT OF ORGANIC ACIDS AND SUGARS**

Author: Andrea Castillo Giménez

Director: Mariola Plazas Ávila

Experimental director: Ana María Adalid Martínez

Valencia, July 2021

## **ABSTRACT**

Tomato is considered one of the most consumed vegetables in the world and with a high economic value. Human consumption has been increasing over time and therefore its cultivation and trade. A part of the production is intended for fresh consumption, playing an important role in the human diet as it is one of the most important sources of vitamin C, vitamin E and carotenoids. In the agriculture sector, tomato cultivation also has a great direct impact on the maintenance of the rural environment, where it is also intended to promote competitive agriculture, but at the same time sustainable, with low inputs. Over the decades, different tomato genetic improvement programs have been taking place, some of them being: greater resistance to pests, greater production or longer post-harvest life of the product due to its global commercialization. All these objectives did not focus the organoleptic quality of the product, directly related to the amount of sugars and acids present, which is currently important on the market. As a result, there are projects such as the BRESOV project, at the European level, which have been conceived with the intention of finding crops that adapt to new weather conditions in short periods of time (such as problems of drought, low fertilization, salinity, high temperatures), to fight against new pests and diseases and also take into account the recent consumer demand for more flavorful and ecological products, with which plant improvement programs worldwide have had to reinvent themselves.

The main objective of this research work is focused on the evaluation of the organoleptic quality of 25 tomato varieties studying their content in reducing sugars (glucose and fructose) and the main organic acids present in the fruit (malic and citric acid). The influence of the environment was also evaluated (the tested varieties were cultivated in Valencia, Spain and Naples, Italy) and the influence of nitrogen shortage and irrigation on the studied components.

The results obtained show a great variability in the content of sugars (glucose and fructose) and organic acids (citric and malic) for the varieties studied in this test, perfectly distinguishing the most acidic profiles from the sweetest ones. In addition, they showed a clear influence of the environment in which they were grown, giving significantly sweeter profiles in the varieties grown in Italy. It was also possible to observe how the concentrations of sugars and acids increase in drought conditions, and remain without significant changes in the conditions of lower fertilization and standard.

**Keywords:** Tomato, low inputs, plant improvement, acids, sugars, sustainability

# **INFLUÈNCIA D'UN RÉGIM DE BAIXOS INSUMS EN EL CULTIU DE 25 VARIETATS DE TOMACA PER AL CONTINGUT D'ÀCIDS ORGÀNICS I SUCRES**

Autora: Andrea Castillo Giménez

Tutora: Mariola Plazas Ávila

Tutora experimental: Ana María Adalid Martínez

València, juliol 2021

## **RESUM**

La tomaca és considerada una de les hortalisses més consumides a tot el món i amb un alt valor econòmic. La seua demanda ha anat augmentant amb el pas del temps i amb ella el seu cultiu i posterior comerç. Una part de la producció es destina al consum en fresc, exercint una important funció en la dieta alimentària a l'ésser una de les fonts de vitamina C, vitamina E i carotenoides més important. En el sector de l'agricultura, el cultiu de la tomaca a més té una gran repercussió directa en el manteniment del medi rural i el medi ambient, on a més es pretén fomentar una agricultura competitiva, però alhora sostenible, de baixos inputs, obtenint més amb menys. Amb el pas de les dècades, diferents programes de millora genètica de la tomaca han sigut succeint-se, sent alguns d'ells: major resistència a plagues, major producció o major vida post-collita del producte degut a la comercialització global d'aquest. Tots aquests objectius deixaven de costat la qualitat organolèptica del producte, relacionada directament amb la quantitat de sucres i àcids presents, que es torna a demandar actualment en el mercat. A causa d'això, existeixen projectes com el projecte BRESOV, a nivell Europeu, que s'han concebut amb la intenció de trobar cultius que s'adapten a condicions climatològiques noves en curts terminis de temps (com a problemes de sequera, poca fertilització, salinitat, altes temperatures), per a lluitar front noves plagues i malalties i a més, tindre en compte la recent demanda dels consumidors, per productes amb més sabor i ecològics, amb el que els programes de millora vegetal a nivell mundial han hagut de reinventar-se.

L'objectiu principal del present treball de recerca se centra en l'avaluació de la qualitat organolèptica de 25 varietats de tomaca estudiant el seu contingut en sucres reductors (glucosa i fructosa) i els principals àcids orgànics presents en el fruit (àcid màlic i cítric). També es va avaluar la influència de l'ambient (les varietats assajades van ser cultivades a València, Espanya i Nàpols, Itàlia) i la influència de l'escassetat de nitrogen i reg sobre els components estudiats.

Els resultats obtinguts mostren una gran variabilitat en el contingut de sucres (glucosa i fructosa) i àcids orgànics (cítric i màlic) per a les varietats estudiades en aquest assaig, distingint perfectament els perfils més àcids dels més dolços. A més, van mostrar una clara influència de l'ambient en el qual van ser cultivades, donant perfils significativament més dolços en les varietats cultivades a Itàlia. També es va poder observar com les concentracions de sucres i àcids augmenten en condicions de sequera, i es mantenen sense canvis significatius en les condicions de menor fertilització i estàndard.

**Paraules clau:** Tomaca, baixos inputs, millora vegetal, àcids, sucres, sostenibilitat

# ÍNDICE

|   |     |
|---|-----|
| ÍNDICE .....  | V   |
| ÍNDICE DE FIGURAS.....  | VI  |
| ÍNDICE DE TABLAS.....   | VII |
| 1. INTRODUCCIÓN.....  | 1   |
| 1.1 Historia e importancia económica del tomate.....  | 1   |
| 1.2 Importancia del cultivo ecológico.....  | 2   |
| 1.3 Proyecto BRESOV: búsqueda de cultivos adaptados a condiciones de bajos insumos .4         |     |
| 1.4 Características nutricionales del tomate .....  | 5   |
| 1.5 Mejora del tomate.....  | 6   |
| 2. OBJETIVOS .....  | 8   |
| 3. MATERIALES Y MÉTODOS .....   | 9   |
| 3.1 Material Vegetal.....   | 9   |
| 3.2 Condiciones de cultivo.....   | 10  |
| 3.3 Diseño experimental y preparación de muestras .....                                       | 12  |
| 3.4 Contenido en azúcares .....   | 12  |
| 3.5 Contenido en ácidos orgánicos .....   | 14  |
| 3.6. Análisis estadístico .....   | 16  |
| 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....   | 17  |
| 4.1 Análisis de la varianza.....  | 17  |
| 4.2 Evaluación de la calidad organoléptica de las accesiones ensayadas .....                  | 18  |
| 4.3 Estudio de las interacciones observadas .....   | 22  |
| 4.4 Estudio de las proporciones de ácidos y azúcares .....                                    | 24  |
| 4.5 Estudio de la relación entre ácidos y azúcares para los ambientes estudiados .....        | 26  |
| 4.6 Evaluación de los efectos del nitrógeno y del riego sobre los componentes del sabor ..... | 28  |
| 5. CONCLUSIONES.....  | 30  |
| Bibliografía.....   | 31  |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |  |
|--|--|
| Figura 1. Representación del tomate en la versión de 1698 de la obra de Matthioli (1544) .1  |  |
| Figura 2. Distribución de la producción española de hortalizas en 2018 (miles de t, porcentaje de la producción española de hortalizas) Fuente:FAO, 2021. ....2  |  |
| Figura 3. Evolución por continentes del área (millones de hectáreas) dedicada a la agricultura ecológica 2011-2018 (Fuente: FIBL-IFOAM, 2021).....3  |  |
| Figura 4.Superficie europea en hectáreas dedicadas al cultivo ecológico en 2018 (Fuente: FIBL-IFOAM, 2021). ....3  |  |
| Figura 5. Frutos representativos de las 25 accesiones de tomate elegidas (elaboración propia). ....10  |  |
| Figura 6. Tomates entutorados en las parcelas de la UPV en Valencia (España) para los tres tratamientos (control, reducción de riego y reducción de N) .....11   |  |
| Figura 7. Clasificación y manipulación en el laboratorio de los frutos de tomate recogidos en la parcela de la UPV en Valencia (España). ....12  |  |
| Figura 8. Tubos Falcon de 15 mL con las muestras de zumo homogeneizado de tomate. ....13   |  |
| Figura 9.Ejemplo de un cromatograma (HPLC) que muestra los picos de fructosa y glucosa detectados en las muestras analizadas. ....13   |  |
| Figura 10. Recta de calibrado para la fructosa. ....14   |  |
| Figura 11. Recta de calibrado para la fructosa. ....14   |  |
| Figura 12. Cromatograma (HPLC) que muestra los picos de ácido cítrico y málico detectados en la muestra. ....15  |  |
| Figura 13. Recta de calibrado para el ácido cítrico. ....15  |  |
| Figura 14. Recta de calibrado para el ácido málico. ....15   |  |
| En total se analizaron 25 entradas x 2 ambientes x 3 condiciones x 3 bloques, es decir 450 muestras para cada uno de los analitos. ....16  |  |
| Figura 15.Fotografías de las variedades BT00500 (Huevo de Paloma) , BT00310 (Cicereta de Menorca), BT02020 (Tomate de Colgar Verde) y BT02320 (Tomate de colgar) hechas en el laboratorio.....20   |  |
| Figura 16. Fotografías de las variedades BT00380 (Montserrat), BT00510 (Cherry ecológico), BT04140 (Rosada d’Ademuz), BT06240 (San Marzano 622), BT06330 (Snow white) y BT06440 (Gajo melón) hechas en el laboratorio. ....21  |  |
| Figura 17.Gráfica de la respuesta para los dos ambientes estudiados (Italia y España) de los azúcares totales (Fructosa y Glucosa) (A) y los ácidos totales (Cítrico y Málico) (B). Concentración especificada en gramos por litro en peso fresco (g/Lpf) .....23  |  |
| Figura 18.Gráficasde la interacción entre ambientes (España e Italia) para los componentes estudiados: Fructosa (A), Glucosa (B), Ac. cítrico (C) y Ac. málico (D). ....24   |  |
| Figura 19. Perfil acumulado de azúcares y ácidos de las accesiones estudiadas para ambos ambientes: España (A) e Italia (B). ....25  |  |
| Figura 21.Gráfico de dispersión representativo de la relación entre ácidos (cítrico y málico) y azúcares (Glucosa y Fructosa) de las accesiones de tomates representadas para los ambientes estudiados: España (A) e Italia (B)Concentración especificada en gramos por litro en peso fresco (g/Lpf) .....27 |  |

## ÍNDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1. Composición estándar del fruto de tomate maduro. ....   | 5  |
| Tabla 2. Listado de códigos utilizados y sus correspondientes variedades.....  | 9  |
| Tabla 3. Anova General de las accesiones de tomate estudiadas valorando los efectos:<br>Accesiones (A), Tratamiento (B), Bloque (C) y Ambiente (D) y las interacciones entre ellas<br>para el contenido en azúcares (Fructosa y Glucosa) y el contenido en ácidos (Cítrico y<br>Málico)..... | 17 |
| Tabla 4. Media $\pm$ error estándar para el contenido en azúcares (Fructosa y Glucosa)(4.2 A) y<br>ácidos (Cítrico y Málico)(4.2 B) para cada una de las accesiones cultivadas en España y en<br>Italia.....   | 19 |
| Tabla 5. Media $\pm$ error estándar para los azúcares (fructosa y glucosa) y ácidos (cítrico y<br>málico) para cada uno de los tratamientos estudiados (ST, LF, LI).....   | 28 |

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Historia e importancia económica del tomate

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) no fue conocido en Europa hasta que fue importado por los españoles desde América (Rick, 1976). Inicialmente se cultivaba sólo como planta ornamental porque sus frutos eran considerados venenosos (Costa y Heuvelink, 2005). Esto retrasó su implantación como cultivo de importancia económica durante casi dos siglos (Carravedo y Ruiz, 2005). A partir de la segunda mitad del siglo XVI fue cultivado y consumido, primero en Europa del Sur y fue difundiéndose por el noroeste de Europa a finales del siglo XVIII hasta su completa expansión (Costa y Heuvelink, 2005). Finalmente se extendió por el resto del mundo. Esta amplia distribución ha permitido que se aprecien gran diversidad de formas, tamaños y colores en las representaciones de los herbarios de la época. Durante la segunda parte del siglo XVIII, se utilizaba no sólo en fresco sino también empezaban a transformarlo, mediante la cocción o la elaboración de salsas, sobretodo en Francia y Alemania (Costa y Heuvelink, 2005). A lo largo del siglo XIX su utilización se generalizó en toda Europa extendiéndose su cultivo hasta convertirse en una de las hortalizas más consumidas a nivel mundial, hecho que perdura en la actualidad (Costa y Heuvelink, 2005).

El tomate es una de las hortalizas más extendidas por todo el mundo y de alto valor económico (Cuartero, 2001). Su demanda ha ido aumentando con el paso del tiempo y con ella su cultivo, producción y posterior comercio. Es un producto destinado a ser consumido en fresco desempeñando una importante función en la dieta humana al ser una de las fuentes de vitamina C, vitamina E y carotenoides más importantes (Cuartero, 2001).

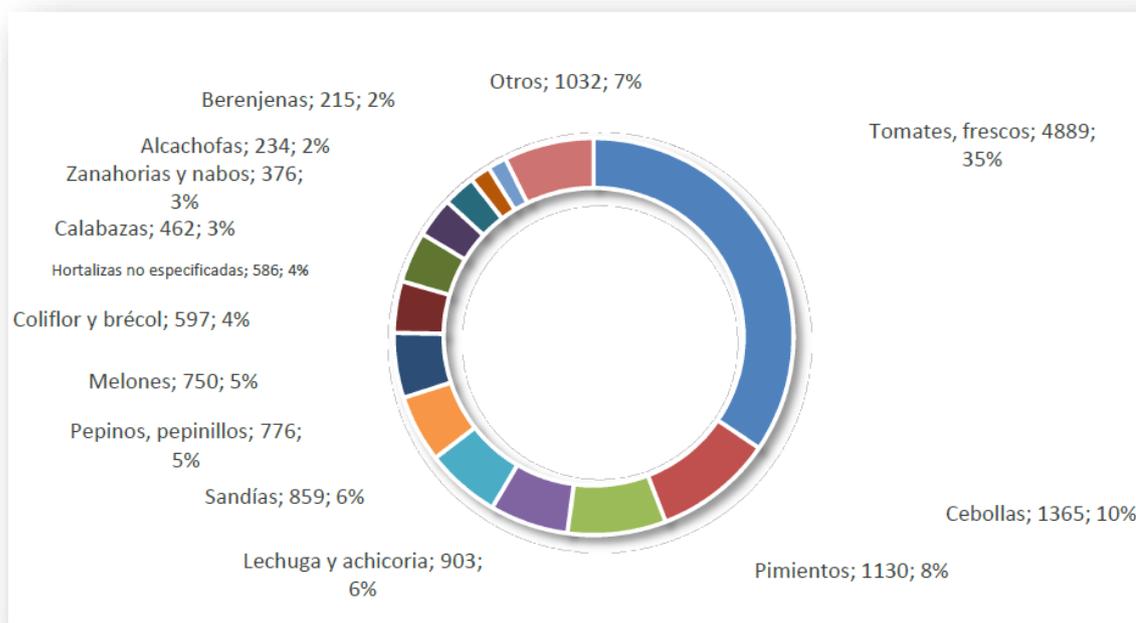
Según el Faostat, el servicio estadístico de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), el tomate es el segundo vegetal más cultivado del mundo después de la patata y supone la hortaliza más importante en la industria alimentaria con un 23,4% de la producción mundial en 2018 (FAO, 2021; WPTC, 2021).

El primer puesto en cuanto a producción corresponde a China, seguido de la India, USA, Turquía, Egipto, Irán Italia y España, a la que le corresponde el octavo puesto como productor a nivel mundial.



**Figura 1.** Representación del tomate en la versión de 1698 de la obra de Matthioli (1544)

En cuanto al sector agrícola español, el tomate supone en torno al 35% de la producción de hortalizas, siendo el cultivo mayoritario en España (Figura2).



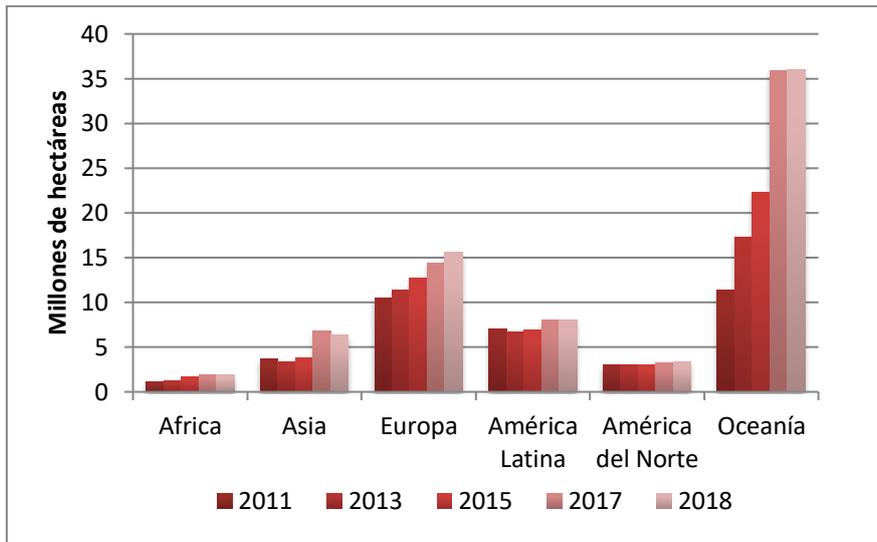
**Figura 2.** Distribución de la producción española de hortalizas en 2018 (miles de t, porcentaje de la producción española de hortalizas) Fuente:FAO, 2021.

## 1.2 Importancia del cultivo ecológico

El sector de la agricultura, además de en importantes aspectos económicos, tiene una influencia directa en el mantenimiento del medio rural y el medio ambiente. En este sentido, la Conferencia Ministerial de Agricultura OCDE de 2016 identificó como objetivo prioritario la contribución a una producción y uso de recursos sostenibles. Se pretende fomentar una agricultura competitiva, pero a la vez sostenible, de bajos insumos, que obtenga más con menos y funcione en armonía.

La Organización de las Naciones Unidas definió como cultivo ecológico aquel proceso que con medios naturales consigue producir alimentos sin la necesidad de añadir compuestos de síntesis (FAO, 2021). La agricultura ecológica está adquiriendo importancia debido a la concienciación de los ciudadanos e instituciones y órganos de gobierno hacia el cambio climático. Cada vez somos más conscientes de los límites de la capacidad de recuperación de los recursos naturales, el riesgo de empobrecimiento o colapso y la posible pérdida de sus valores (Stopes et al., 2010).

La superficie destinada a cultivo ecológico en Europa crece continuamente, ha pasado de 10,5 millones de hectáreas en 2011 a más de 15 millones de hectáreas en 2018 (Figura 3). Este aumento se debe principalmente al apoyo al sector, tanto por los consumidores como de instituciones públicas.



**Figura 3.** Evolución por continentes del área (millones de hectáreas) dedicada a la agricultura ecológica 2011-2018 (Fuente: FIBL-IFOAM, 2021).

De este modo, más del 20% de la superficie ecológica del mundo se localiza en Europa, donde España es el país con mayor superficie destinada, seguida de Francia e Italia (Figura 4). No obstante, España aún se queda lejos en proporción de superficie destinada a cultivo ecológico respecto a la total cultivada (alrededor del 6%) en comparación a otros países del centro y norte de Europa como Austria (19%) o Suecia (16%). (FIBL-IFOAM, 2021)



### **1.3 Proyecto BRESOV: búsqueda de cultivos adaptados a condiciones de bajos insumos**

Actualmente, el cambio en la tendencia de consumo, con respecto a la alimentación y el actual problema mundial del cambio climático está poniendo en jaque a los mejoradores de plantas. Los cultivos deben adaptarse a condiciones climatológicas nuevas en plazos cortos, hay problemas de sequía en gran parte del mundo, salinidad, cambios bruscos de temperatura, además de nuevas plagas y enfermedades (IPPC, 2014), y debemos encontrar soluciones rápidas. Además, los consumidores demandan productos con más sabor y más ecológicos con lo que las empresas productoras de semillas han necesitado aumentar y readaptar sus programas de mejora. No solo las casas de semillas se han visto envueltas en esta labor, también organizaciones como la Comunidad Europea se va visto en la necesidad de colaborar en el proceso de adaptación de los cultivos por el miedo a que la población se vea desabastecida de alimento.

Por esta razón, en la actualidad se encuentran en marcha una serie de proyectos interdisciplinarios de ámbito europeo, donde distintos países, de forma cooperativa, colaboran en aras de un objetivo común (H2020, H2030; <https://eshorizonte2020.es/>, <https://fundacionglobalnature.org/horizonte-2030/>)

Con la finalidad de conseguir productos agrícolas adaptados a condiciones de bajos insumos nace el proyecto BRESOV, incluido en la iniciativa Europea H2020. El objetivo principal del proyecto BRESOV es mejorar la competitividad de cultivos como brócoli, judía verde y tomate cuando se cultivan en un sistema de producción ecológica. Los objetivos específicos o ítems a desarrollar en este proyecto son:

- a) Establecimiento de colecciones nucleares, compuestos de genotipos no redundantes para cada una de las especies.
- b) Exploración de la base genética de los caracteres principales implicados en el cultivo ecológico y desarrollo de marcadores moleculares que permitan la selección asistida por marcadores, de nuevos cultivares adaptados a los agrosistemas de agricultura ecológica para estrés biótico y abiótico en varios sistemas de cultivo de vegetales orgánicos en diferentes ubicaciones dentro y fuera de Europa.
- c) Aumento de la calidad y cantidad de semillas de hortalizas producidas en sistemas ecológicos para los productores. Semillas adaptadas a diferentes condiciones geográficas y climáticas europeas mediante el desarrollo de metodologías que aseguren la disponibilidad de semillas ecológicas de alta calidad.
- d) Mejora de la adaptabilidad de los cultivos objetivo en los sistemas de cultivo de hortalizas ecológicas y la interacción entre los nuevos cultivares y el microbioma del suelo.
- e) Realización de actividades divulgativas para difundir los resultados del proyecto, con el fin hacer accesible la agricultura orgánica vegetal a las partes interesadas, siendo uno de los principales objetivos hacer la agricultura ecológica accesible a más productores.

Este trabajo se ha desarrollado abordando uno de los objetivos que se incluyen dentro del proyecto BRESOV.

### 1.4 Características nutricionales del tomate

La calidad nutricional, aunque imperceptible para los consumidores a simple vista, es imprescindible para conseguir una dieta saludable. Los componentes principales del tomate son agua, azúcares y ácidos, proteínas, lípidos y aminoácidos, minerales, componentes fenólicos, pigmentos y vitaminas. En cuanto a los componentes nutricionales destacan los tres últimos como componentes nutraceuticos o con características nutraceuticas, denominados así porque proporcionan adicionalmente beneficios para la salud, incluyendo funciones preventivas y mejoras en el tratamiento de enfermedades (Jack, 1995).

**Tabla1.** Composición del fruto de tomate maduro.

|                           | Grupo        | Constituyentes  | Contenido (g/100g peso seco) |
|---------------------------|--------------|---|------------------------------|
| <b>Sólidos insolubles</b> | Proteínas    |   | 8                            |
|                           | Pectinas     |   | 7                            |
|                           | Hemicelulosa |   | 4                            |
|                           | Celulosa     |   | 6                            |
| <b>Sólidos solubles</b>   | Á. Orgánicos | Ácido Cítrico   | 9                            |
|                           |              | Ácido Málico  | 4                            |
|                           | Minerales    | K <sup>+</sup> ,Ca <sup>2+</sup> ,Mg <sup>2+</sup> ,P | 8                            |
|                           | Azúcares     | Glucosa   | 22                           |
|                           |              | Fructosa  | 0,1                          |
|                           |              | Sacarosa  | 1                            |
| <b>Otros compuestos</b>   | Lípidos      |   | 2                            |
|                           | Aminoácidos  |   | 2                            |
|                           | Vitaminas    |   | 0,5                          |
|                           | Pigmentos    | (Ppal. Licopeno)                                      | 0,4                          |
|                           | C. Volátiles |   | 0,1                          |

**Fuente:** Abushita et al., 1997; Roselló y Nuez, 2006.

Sin embargo, en este trabajo nos vamos a centrar en la calidad organoléptica, siendo definida como todas aquellas sensaciones que experimentamos al consumir un alimento relacionadas con el gusto (dulzor, acidez, amargor, etc.), olfato (aroma, perfume) y tacto (firmeza, harinosidad, etc.) (Pretelet et al., 1993).

La calidad organoléptica guarda una relación directa con la cantidad de sólidos solubles (ácidos y azúcares principalmente) y compuestos aromáticos presentes en el fruto. Los azúcares

reductores representan aproximadamente el 50% de la materia seca siendo la glucosa y la fructosa los que se encuentran en una mayor proporción. Los ácidos orgánicos, principalmente cítrico y málico, representan más del 10% de la materia seca (Chamarro, 2003).

Tanto los azúcares como los ácidos aportan escaso valor nutricional, pero tienen un papel esencial en el sabor y por ello se pretende centrar el presente trabajo en la búsqueda y estudio de la variación de estos parámetros, relacionados con la calidad organoléptica, midiéndolos en diferentes condiciones para determinar su estabilidad.

### **1.5 Mejora del tomate**

El objetivo principal de los agricultores y de la industria de la mejora del tomate siempre fue aumentar la productividad, sin embargo, desde los pasados años 30 en adelante, la preocupación se centró en reducir las pérdidas de producción debidas a la incidencia de enfermedades y plagas, aumentar la calidad y en la reducción de los efectos provocados por la falta de tolerancia a estreses ambientales (temperaturas extremas, sequía, exceso de humedad, salinidad o problemas edáficos) (Stevens et al., 1991).

En los años 40 y 50, la prioridad en la mejora del tomate se basó en aumentar el potencial productivo y disminuir las pérdidas de producción debidas a estreses bióticos o abióticos. Se conseguía así que el agricultor aumentase la producción final y a su vez, al aumentar la oferta de producto permitía al distribuidor-comercializador reducir costes de compra (Rick y Chetelat, 1995).

Sin embargo, en los años 60, el auge de distribuidores e intermediarios en cadena y la globalización del mercado agrícola generaron el problema de transporte del producto, donde de repente, había que enviar a otras regiones lejanas distintas del lugar de producción, tomate que llegaran en buenas condiciones (Rick y Chetelat, 1995; Gur y Zamir, 2004).

En ese momento, el objetivo de mejora del tomate demandaba centrar los esfuerzos en darle una mayor vida postcosecha al producto que permita reducir las pérdidas materiales no comercializadas. En cuanto al aspecto del fruto, debido a la gran importancia que tiene el distribuidor-comercializador en esta época frente al consumidor, es él quien decide, demandando tomates uniformes que satisfacen en un primer momento los deseos del consumidor, en el momento de la compra, que se basaban por aquel entonces en el aspecto visual. (Bai y Lindhout, 2007; Hajjar y Hodgkin, 2007; Vidavski et al., 2008).

La priorización de dichos objetivos de mejora condicionó que las variedades modernas fueran perdiendo variabilidad y a su vez, sabor frente a variedades tradicionales. El hecho de realizar una fuerte selección hacia conseguir frutos con un retraso en la maduración, indirectamente hizo seleccionar hacia una menor acumulación de genes implicados en la acumulación de carotenoides y de compuestos volátiles relacionados con el aroma (McGlasson et al., 1987; Baldwin et al., 2000). Esta selección también influyó en características fitotécnicas, como que el cultivo intensivo fuera de estación o la recolección excesivamente temprana derivaba en la disminución de azúcares en los tomates y por lo tanto quejas sobre el sabor del tomate (Bruhn

et al., 1991). Esta pérdida de propiedades organolépticas influyeron que se comenzara a trabajar en recuperar mercados de calidad vinculados a las variedades tradicionales (Cebolla-Cornejo et al., 2012), ya que se espera que estas variedades mantengan características deseables a introducir en las variedades comerciales, por lo que su uso puede contribuir a aumentar la variabilidad genética de las variedades actuales.

Es por todo ello que, en los últimos tiempos, los programas de mejora se han centrado en recuperar variedades tradicionales para producir tomates con el sabor y aroma que les caracterizaba. Por tanto, el siguiente paso en la búsqueda de la mejora del tomate es mantener la calidad organoléptica del tomate y recuperar ese sabor tradicional (Figs et al., 2014).

Este trabajo utilizará este tipo de materiales, centrándose en algunos componentes del fruto (ácidos orgánicos y azúcares) fundamentales para la percepción del sabor, buscando la estabilidad de estos compuestos en cultivo de bajo insumos. Esta mejora permitirá reducir la huella ecológica que deja su coste de producción, tan alto en recursos significativamente importantes y necesarios como son el agua en el riego de los cultivos o el nitrógeno en el abonado de los mismos, ya que esperamos que las variedades tradicionales aporten una mejor adaptación y una reducción en la necesidad de insumos respecto a los recursos usados por las variedades comerciales.

## 2. OBJETIVOS

Los consumidores demandan una mayor calidad organoléptica y una vuelta al sabor original del tomate, cultivados de una manera más respetuosa con el medio ambiente y la salud. Por esta razón, en los últimos años se está observando un auge del cultivo ecológico, con restricciones en el abonado de los cultivos y la ausencia de tratamientos fitosanitarios. Además, debido al cambio climático y al avance de la desertización se deben buscar variedades que resistan condiciones hídricas más extremas y severas.

Por tanto, los objetivos del presente proyecto fueron los siguientes:

- Evaluación de la calidad organoléptica de 25 variedades de tomate, estudiando su contenido en azúcares reductores (glucosa y fructosa) y los principales ácidos orgánicos (ácido málico y cítrico), componentes ambos que afectan al sabor.
- Evaluar si dichos parámetros varían con el cambio de ambiente, analizando para ello, las variedades objeto de ensayo, cultivadas en Valencia (España) y en Nápoles (Italia).
- Evaluar la influencia del nitrógeno y del riego sobre los componentes de sabor estudiados.

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Material Vegetal

Una colección de 25 variedades de tomate tradicional de la especie *Solanumlycopersicum*L.de diferentes orígenes de España (Comunidad Valenciana, Cataluña, Aragón y Baleares) e Italia se evaluaron bajo diferentes condiciones agronómicas (Control, Bajo Nitrógeno, Bajo nivel de agua) en dos ambientes diferentes (España e Italia).

**Tabla2.** Listado de códigos utilizados y sus correspondientes variedades indicando su origen y morfología.

| Código  | Accesión                        | Origen        | Morfortipo                                 |
|---------|---------------------------------|---------------|--|
| BT00310 | Cirereta Menorca                | Baleares      | Cóctel, 4x6 cm, rojo claro                 |
| BT00380 | Montserrat                      | Cataluña      | Acostillado, 13 x 10 cm, rojo claro        |
| BT00400 | De Borseta                      | C. Valenciana | Redondo ,6 x 8 cm, anaranjado              |
| BT00460 | Amarillo bombilla               | -             | Cóctel, 5 X 3 cm, amarillo                 |
| BT00500 | Huevo de Paloma                 | Andalucía     | Cóctel, 4 X 2 cm, rojo                     |
| BT00510 | Cherry ecológico                | C. Valenciana | Cóctel, 3 x 3 cm, rojo oscuro              |
| BT02020 | Tomate de colgar verde          | C. Valenciana | De colgar, 8 x 5 cm, verde anaranjado      |
| BT02030 | Tomática de penjar del melic    | C. Valenciana | De colgar, 6 x 6 cm, rosado                |
| BT02320 | Tomate de colgar                | C. Valenciana | De colgar, 7 x 7 cm, rosado, anaranjado    |
| BT02470 | Tomate de colgar de todo el año | C. Valenciana | De colgar, 6 x 6 cm, rosado                |
| BT02590 | Kumato                          | -             | Redondo, 6 x 6 cm, rojo oscuro             |
| BT04030 | Flor de Baladre                 | Cataluña      | Aplanado, 15 x 11 cm, rojo                 |
| BT04060 | Valenciana II                   | C. Valenciana | Redondeada, 15 x 15 cm, rojo anaranjado    |
| BT04090 | Amarillo Ademuz                 | C. Valenciana | Ligeramente aplanado, 15 x 12 cm, amarillo |
| BT04130 | Rosada d'Altea                  | C. Valenciana | Rosada, 13 x 10 cm, rosa                   |
| BT04140 | Rosada d'Ademuz                 | C. Valenciana | Rosada, 9 x 8 cm, rosa                     |
| BT04150 | Rosa de Barbastro               | Aragón        | Rosada, 15 x 13 cm, rosa                   |
| BT06240 | San Marzano 622                 | Italia        | Oval, 5 x 9 cm, rojo anaranjando           |
| BT06330 | Snow white                      | -             | Cóctel, 3 x 3 cm, amarillo claro           |
| BT06440 | Gajo de melón                   | -             | Cóctel, 3 x 3 cm, anaranjado               |
| BT06460 | Black Cherry                    | -             | Cóctel, 3 x 3 cm, rojo oscuro              |
| BT08260 | Babywine                        | -             | Redondeado, 6 x 7 cm, rosado               |
| BT10050 | del Vesuvio                     | Italia        | Cóctel, 5 x 5 cm, rosado                   |
| BT10190 | Red Pear                        | -             | Cóctel, 5 x 2 cm, rojo                     |
| BT10210 | Piennolo 21                     | Italia        | Cóctel, 4 x 3 cm, rosado                   |

Esta colección mostró diferencias en cuanto tamaño, forma y color de fruto tal como puede observarse en la Tabla 2 y la Figura 5. Podemos encontrar desde tomate de ensalada con un tamaño tipo a variedades tipo cóctel de tamaño característico de las especies silvestres.

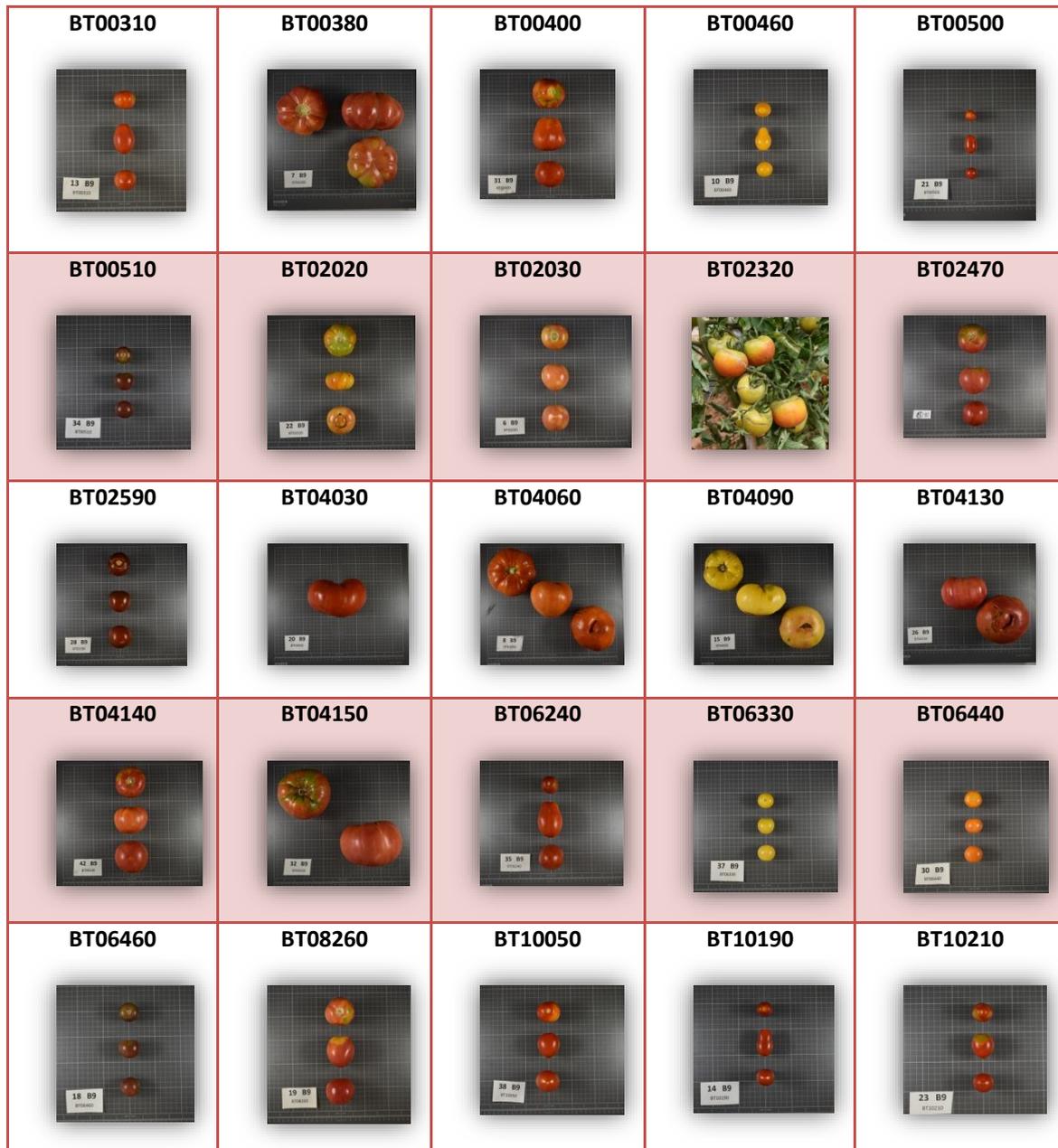


Figura 5. Frutos representativos de las 25 accesiones de tomate elegidas (elaboración propia).

### 3.2 Condiciones de cultivo

Con la finalidad de comparar dos ambientes, este trabajo se ha realizado en los campos de cultivo de agricultura ecológica pertenecientes a la UPV en la localidad de Alcácer

(Valencia) y en los campos también de cultivo en régimen de agricultura ecológica disponibles del CREA (Consiglio per la Ricerca in Agricoltura e l'Analisi dell'Economia Agraria) dependiente del Ministerio de Política Agrícola, Alimentaria y Forestal del Gobierno Italiano, en la localidad de Monsampolo Del Tronto, Ascoli Piceno (Italia).

En España la siembra se realizó en abril y la recogida de los frutos en julio de 2020. Mientras que en Italia la siembra fue en junio y la recogida en noviembre de 2020. Las condiciones aplicadas para el cultivo fueron las mismas en las dos localidades para poder comparar los resultados del ensayo y fueron las habituales para tomate en régimen de agricultura ecológica. Previamente se preparó el campo mediante arado normal y preparación de los caballones cubiertos con malla negra, para impedir el crecimiento de malas hierbas y después se realizó el trasplante. El marco de plantación utilizado fue de 35 cm de separación entre las plantas dentro del caballón y una separación de 1 m entre caballones (Figura 6). Las siembras se realizaron en semilleros con sustrato, depositando las semillas una por alveolo y el trasplante se realizó cuando la planta tuvo 2 o 3 hojas verdaderas. El riego se aplicó por goteo directamente a las plantas, en las necesidades requeridas en cada uno de los tratamientos. El abono nitrogenado se aplicó directamente en el suelo, en los caballones donde irían las plantas, en función del tratamiento que corresponda.

Los tratamientos realizados y evaluados en este ensayo fueron los siguientes:

- Tratamiento 1 (control, ST): Fertilización nitrogenada y riego a demanda
- Tratamiento 2 (reducción del riego, LI): Fertilización nitrogenada normal y riego al 30 %
- Tratamiento 3 (reducción del N; LF): Ausencia de fertilización nitrogenada en el suelo y riego normal



**Figura 6.** Tomates entutorados en las parcelas de la UPV en Valencia (España) para los tres tratamientos (control, reducción de riego y reducción de N)

### 3.3 Diseño experimental y preparación de muestras

El diseño experimental del ensayo fue en bloques al azar con 3 repeticiones, donde se buscó además de evaluar el efecto de los distintos tratamientos, ver si la disposición física en el campo de cultivo influye en los parámetros medidos.

Los frutos se recogieron en estado maduro (máxima intensidad de color) lo más uniforme posible, y sólo aquellos que no presentaban grietas ni daños, para evitar una degradación de sus compuestos organolépticos. Los frutos que se seleccionaron para el ensayo se encontraban siempre a partir del tercer ramillete ya que normalmente los primeros frutos obtenidos por la planta pueden no tener las características representativas de la accesión o variedad.

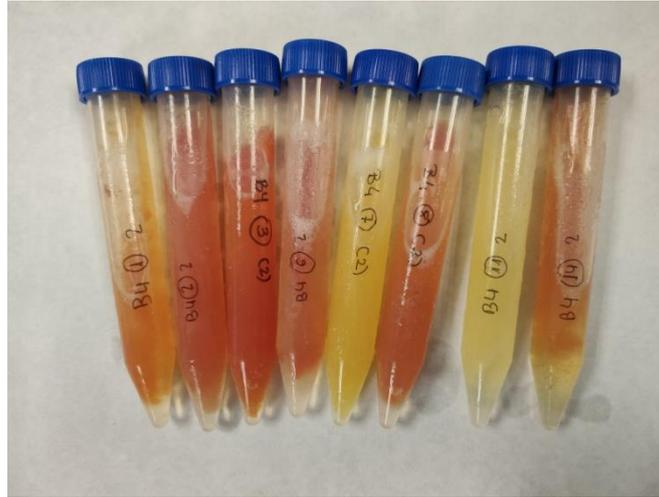
Los frutos se recogieron en campo, se llevaron al laboratorio y se procesaron (Figura 7). Cada muestra se formó por trozos cortados de manera longitudinal de diferentes tomates del mismo bloque y variedad y se congelaron inmediatamente con nitrógeno líquido. Se almacenaron a  $-80^{\circ}\text{C}$  hasta el posterior análisis.



**Figura 7.** Clasificación y manipulación en el laboratorio de los frutos de tomate recogidos en la parcela de la UPV en Valencia (España).

### 3.4 Contenido en azúcares

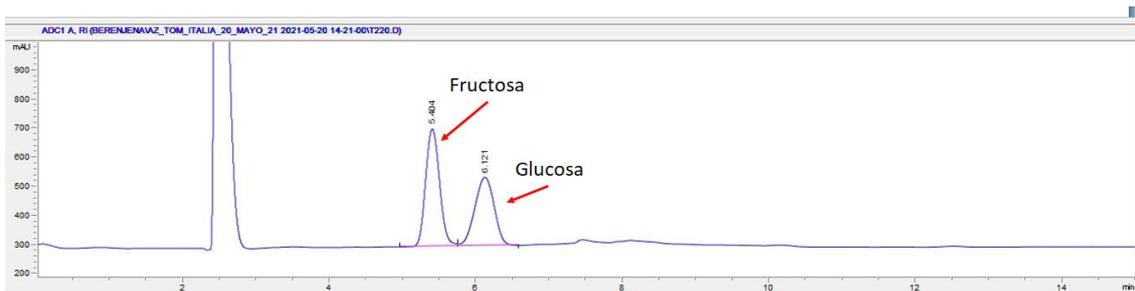
La determinación de azúcares se basa en una modificación del método descrito por Navarro et al. (2006). Las muestras guardadas a  $-80^{\circ}\text{C}$  se trituraron con un homogeneizador de laboratorio hasta obtener partículas del tamaño  $< 0.4$  mm. Este licuado se vertió en tubos Falcon de centrifuga de 15 mL (Figura 8) y se centrifugó a 4000 rpm, durante 15 minutos a  $4^{\circ}\text{C}$  para evitar la degradación de los compuestos a analizar. Una vez centrifugado, se tomó una alícuota del sobrenadante y se diluyó en agua ultrapura a razón de 1:1 (v/v) en un tubo de 5 mL y se agitaron en vórtex durante 10 segundos.



**Figura 8.** Tubos Falcon de 15 mL con las muestras de zumo homogeneizado de tomate.

La solución fue filtrada dentro de viales de HPLC previamente rotulados utilizando filtros 0.20  $\mu\text{m}$  de celulosa regenerada (Phenex, Phenomenex). La membrana permitió la eliminación de las partículas finas de la solución acuosa. Posteriormente se llevó a cabo la separación por cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC por sus siglas en inglés) utilizando para ello un equipo HPLC 1220 Infinity de Agilent y un detector de índice de refracción RI modelo 350 Varian Pro-Star.

La separación cromatográfica se realizó mediante una columna Omega Luna Sugar de Phenomenex (150 mm x 4.6 mm, 3 $\mu\text{m}$ ) con precolumna (4 x 3.0 mm) a 40°C (Figura 9). Los parámetros de la separación fueron: una velocidad de flujo de 0.8 ml por minuto, una inyección de 10  $\mu\text{l}$  de muestra, una fase móvil constituida por acetonitrilo:aguualtrapura, en proporción 75:25 (v/v) y un tiempo total de análisis, incluyendo la fase de limpieza de la columna entre muestras, de 15 minutos por muestra.



**Figura 9.** Ejemplo de un cromatograma (HPLC) que muestra los picos de fructosa y glucosa detectados en las muestras analizadas.

Para determinar las concentraciones de azúcares se utilizó una curva de calibrado de 5 puntos, a partir de una solución madre de 40000 ppm para fructosa (Figura 10) y glucosa (Figura 11). Los resultados del contenido de fructosa y glucosa se expresaron en gramos/litro (g/L).

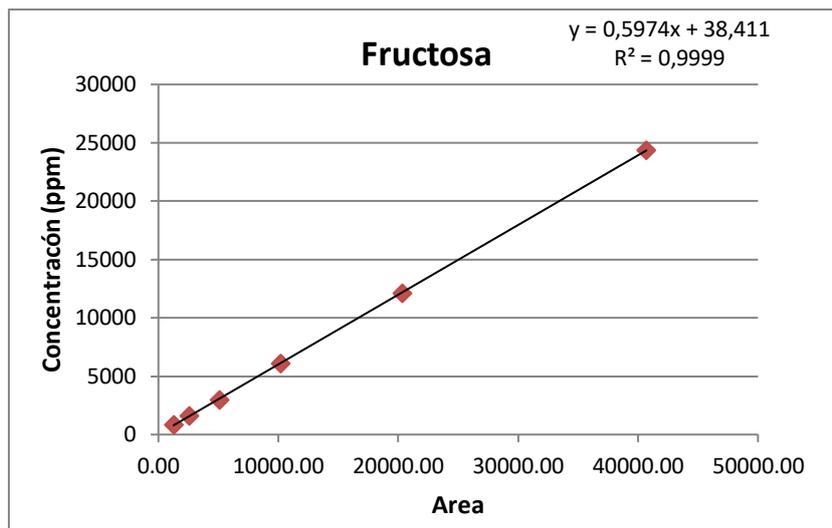


Figura 10. Recta de calibrado para la fructosa.

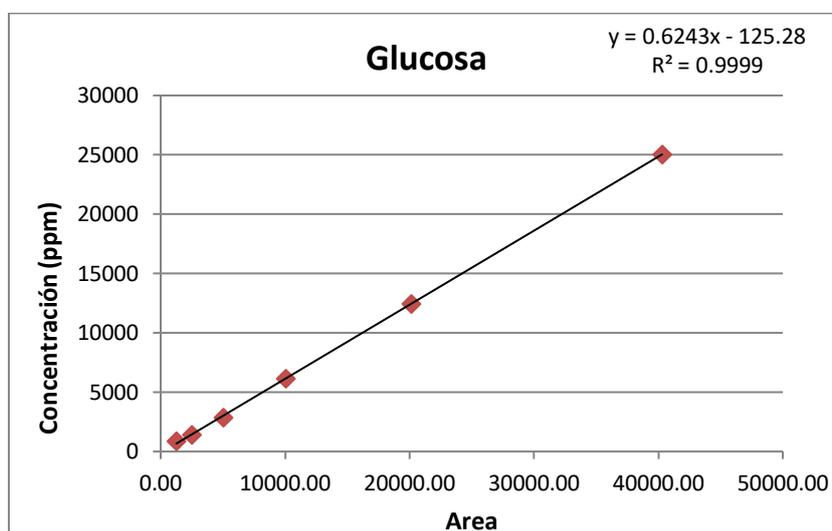
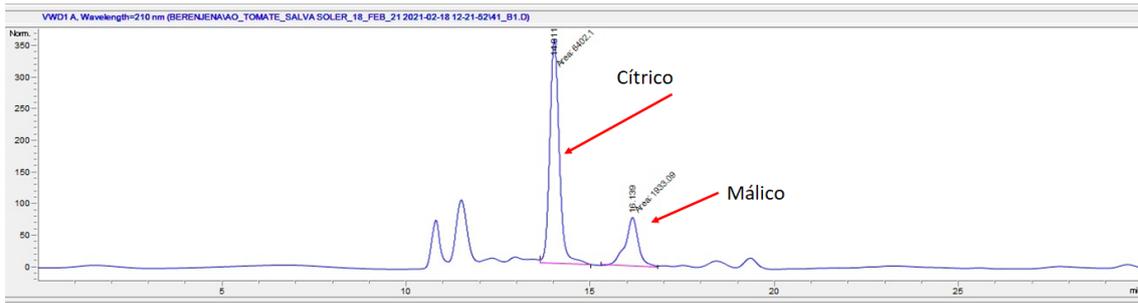


Figura 11. Recta de calibrado para la fructosa.

### 3.5 Contenido en ácidos orgánicos

El análisis de ácido cítrico y ácido málico se determinó por medio de HPLC, en base al método obtenido por Ball et al. (2011). Se utilizó el mismo extracto que para el análisis de azúcares.

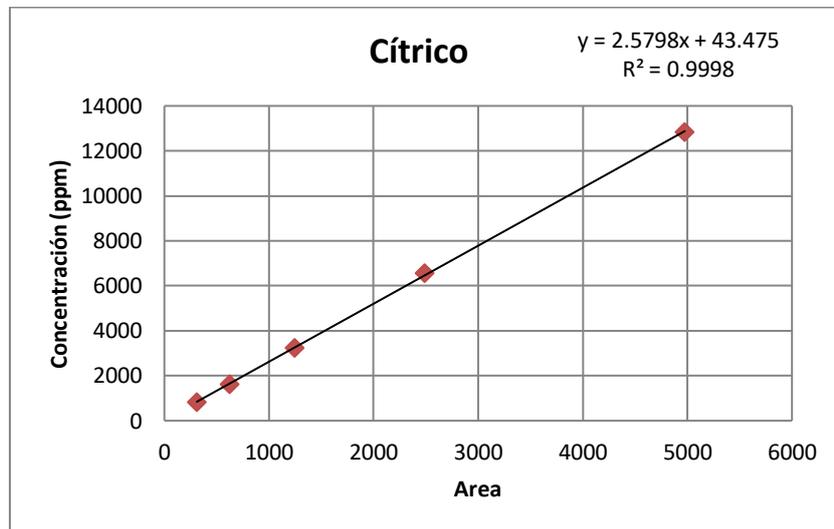
La separación y detección se realizó por medio de una columna Hi-PLEX H, 7.7 x 300 mm, de Agilent technologies a 50°C (Figura 12). La detección se realizó a 210 nm con un detector UV acoplado al sistema HPLC. La velocidad del flujo fue de 0.6 mL por minuto y la fase móvil utilizada fue 100% 0.01 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. El tiempo total de análisis incluyendo la fase de preparación de la columna entre muestras fue de 35 minutos por muestra y la inyección de muestra fue de 10 µl.



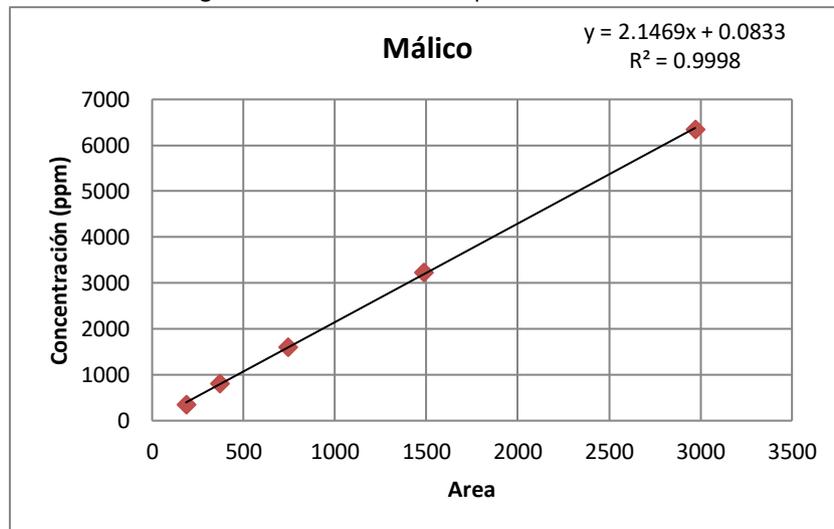
**Figura 12.** Cromatograma (HPLC) que muestra los picos de ácido cítrico y málico detectados en la muestra.

Para la cuantificación de los ácidos se obtuvo una curva de calibrado a partir de una solución madre de 10000 ppm de ácido málico y de ácido cítrico. En la figura 13 y 14 se presenta las calibraciones realizadas con las concentraciones.

Los resultados para la concentración de ácido málico y ácido cítrico se expresaron como g/L.



**Figura 13.** Recta de calibrado para el ácido cítrico.



**Figura 14.** Recta de calibrado para el ácido málico.

En total se analizaron 25 entradas x 2 ambientes x 3 condiciones x 3 bloques, es decir 450 muestras para cada uno de los analitos.

### **3.6. Análisis estadístico**

Los datos se analizaron mediante el software *Statgraphics Centurion XVIII* (StatPoint Technologies, Inc; Warrenton, Virginia, EE. UU.) realizando un análisis de varianza multifactorial (ANOVA). Se calcularon los valores medios y se obtuvieron sus errores estándar para cada una de las entradas y condiciones ensayadas. Las diferencias entre los valores medios se determinaron mediante un análisis de varianza de una vía junto con la prueba de comparación múltiple de Student-Newman-Keuls. Los valores de  $p < 0,05$  se consideraron significativos.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Análisis de la varianza

Para realizar el análisis de la varianza, sólo se tuvieron en cuenta aquellas entradas de las que se tuvieron al menos datos para cada una de las localidades, bloques y tratamientos. Por lo que el número final estudiado de entradas fue de 22. El análisis de varianza (ANOVA) realizado mostró un elevado efecto significativo del efecto Accesión (A) para todos los caracteres estudiados en este trabajo (Fructosa, Glucosa, Ácido Cítrico y Ácido Máfico) (Tabla 3). Este efecto explicó más de 57% de la variabilidad en el caso de los azúcares, y más del 42% en el caso de los ácidos analizados. Sin embargo, para Tratamiento (B) y Ambiente (D) el % explicado de la variabilidad no fue tan elevado, pero sí significativo para todos los compuestos excepto para el ácido málico. El efecto del Bloque (C) no es significativo para ninguno de los compuestos tal y como esperábamos, ya que el diseño experimental se planificó para que la localización de las plantas en el campo fuera aleatoria y de esta manera no influyera el lugar en el que había sido plantada cada variedad a la hora de analizar e interpretar los resultados obtenidos.

**Tabla 3.** Anova General de las accesiones de tomate estudiadas valorando los efectos: Accesiones (A), Tratamiento (B), Bloque (C) y Ambiente (D) y las interacciones entre ellas para el contenido en azúcares (Fructosa y Glucosa) y el contenido en ácidos (Cítrico y Máfico).

| Análisis de Varianza (ANOVA) |                 |                 |                    |         |                    |         |                    |        |                     |
|------------------------------|-----------------|-----------------|--------------------|---------|--------------------|---------|--------------------|--------|---------------------|
| Efectos principales          | Fructosa        |                 |                    | Glucosa |                    | Cítrico |                    | Máfico |                     |
|                              | gl <sup>1</sup> | SC <sup>2</sup> | % <sup>3</sup>     | SC      | %                  | SC      | %                  | SC     | %                   |
| <b>Accesiones (A)</b>        | 21              | 9157,74         | 57,64***           | 9188,8  | 61,72***           | 772,89  | 42,11***           | 17,69  | 42,57***            |
| <b>Tratamiento (B)</b>       | 2               | 271             | 1,71***            | 382,97  | 2,57***            | 66,05   | 3,60***            | 0,13   | 0,31 <sup>NS</sup>  |
| <b>Bloque (C)</b>            | 2               | 17,17           | 0,11 <sup>NS</sup> | 79,87   | 0,54 <sup>NS</sup> | 7,16    | 0,39 <sup>NS</sup> | 0,23   | 0,55 <sup>NS</sup>  |
| <b>Ambiente (D)</b>          | 1               | 1045,03         | 6,58***            | 283,92  | 1,91***            | 292,32  | 15,93***           | 0,02   | 0,05 <sup>NS</sup>  |
| Interacciones                |                 |                 |                    |         |                    |         |                    |        |                     |
| <b>AB</b>                    | 42              | 579,35          | 3,65 <sup>NS</sup> | 439,72  | 2,95 <sup>NS</sup> | 85,87   | 4,68 <sup>NS</sup> | 1,91   | 4,60 <sup>NS</sup>  |
| <b>AD</b>                    | 21              | 537,27          | 3,38**             | 377,05  | 2,53 <sup>NS</sup> | 85,95   | 4,68***            | 6,71   | 16,15 <sup>NS</sup> |
| <b>BD</b>                    | 2               | 21,92           | 0,14 <sup>NS</sup> | 2,14    | 0,01 <sup>NS</sup> | 24,72   | 1,35***            | 0,12   | 0,29***             |
| Residuos                     | 295             | 4184,94         | 26,34              | 3975    | 26,7               | 503,37  | 27,42              | 14,11  | 33,96               |
| Total                        | 386             | 15888           | 100                | 14887,9 | 100                | 1835,5  | 100                | 41,56  | 100                 |

<sup>1</sup>grados de libertad; <sup>2</sup>suma de cuadrados; <sup>3</sup>porcentaje suma de cuadrados

NS, \*, \*\* y \*\*\* indican no significativo para una probabilidad  $p < 0,05$  y significativo para  $p < 0,05$ , 0,01 y 0,001, respectivamente, de acuerdo a la ratio estadístico F.

En cuanto a las interacciones entre los efectos principales, la mayoría fue no significativa excepto para el efecto de Accesiones (A) y el del Ambiente (D) para los componentes Fructosa y Cítrico, indicándonos que las accesiones de tomate se han comportado de manera distinta en España e Italia para estos dos componentes (Tabla 3).

En la interacción Tratamiento (B) x Ambiente (D) el análisis de varianza nos muestra como significativa esta interacción para los ácidos orgánicos (Cítrico y Málico) mientras que no lo sería para los azúcares (Fructosa y Glucosa). Por lo que podemos concluir que los tratamientos afectaron a la acumulación de compuestos de manera diferencial según el país en el que se aplicaron en los contenidos de ácidos de las accesiones de tomate estudiadas (Tabla 3).

Por último, la interacción Accesoión (A) x Tratamiento (B) no se muestra significativa para ninguno de los componentes estudiados, por lo que podemos asumir que las variedades de tomate estudiadas han respondido de forma similar a los tratamientos empleados (Tabla 3).

Es posible que la diferencia en el comportamiento, para algunos de los compuestos estudiados en las variedades de tomate según el país de plantación, se deba a que los ensayos no se realizaron en la misma época del año y aunque el diseño experimental se realizó en común con la finalidad de seguir los mismos pasos y en el mismo orden para dar validez a este ensayo, cabe la posibilidad de que el factor humano y las condiciones de recogida del fruto, así como otros factores condicionantes a la hora de su plantación o manipulación no hayan sido exactamente iguales provocando que haya una diferencia en la acumulación de los compuestos estudiados, dentro de las mismas accesiones de tomate plantadas en los dos ambientes.

#### **4.2 Evaluación de la calidad organoléptica de las accesiones ensayadas**

Como hemos visto en el apartado anterior (Tabla 3), el efecto de la accesoión fue el efecto más significativo en la variabilidad de las muestras ensayadas. Para estudiar dicho efecto y la calidad organoléptica de las accesiones ensayadas, se confeccionó una tabla con las medias y los errores estándar de los componentes analizados (Tabla 4) para el tratamiento Estándar, evaluando como sería el comportamiento de nuestras accesiones en condiciones normales de cultivo, para estos caracteres de calidad. De esta forma, se pudo comparar los niveles de los parámetros estudiados entre las distintas accesiones sin verse afectados por el estrés hídrico ni por el bajo nitrógeno de los otros dos tratamientos. De esta manera los resultados de la tabla 4 mostraron el potencial real de las accesiones estudiadas. También se ha incluido las pruebas de rangos múltiples señaladas con letras de la A a la H (Tabla 4). En el análisis de la varianza se ha comprobado que existe una interacción altamente significativa del efecto Accesoión (A) x Ambiente (D) por lo tanto en la Tabla 4 se muestran los datos separados por ambiente (España e Italia) y así poder observar la respuesta diferencial entre las distintas variedades.

**Tabla 4.** Media  $\pm$  error estándar para el contenido en azúcares (Fructosa y Glucosa) A) y ácidos (Cítrico y Máfico)(B) para cada una de las accesiones cultivadas en España y en Italia.

| Accesiones | <b>(A) Fructosa</b> |                 |    |        |        |     | <b>Glucosa</b> |        |     |        |        |      |
|------------|---------------------|-----------------|----|--------|--------|-----|----------------|--------|-----|--------|--------|------|
|            | España              |                 |    | Italia |        |     | España         |        |     | Italia |        |      |
|            | Media               | SE <sup>1</sup> |    | Media  | SE     |     | Media          | SE     |     | Media  | SE     |      |
| BT00310    | 11,66               | ± 0,75          | a  | 13,60  | ± 1,80 | a   | 7,33           | ± 0,22 | a   | 10,78  | ± 0,13 | ab   |
| BT00380    | 10,41               | ± 1,67          | a  | 15,84  | ± 1,21 | ab  | 7,91           | ± 0,95 | a   | 9,69   | ± 0,39 | ab   |
| BT00400    | 10,62               | ± 0,95          | a  | 15,90  | ± 2,18 | a   | 6,98           | ± 1,02 | a   | 10,34  | ± 1,45 | ab   |
| BT00460    | 13,27               | ± 2,06          | ab | 20,74  | ± 2,71 | cd  | 8,01           | ± 1,63 | cd  | 12,78  | ± 0,29 | cd   |
| BT00500    | 29,05               | ± 5,04          | d  | 32,20  | ± 1,39 | bcd | 29,02          | ± 5,26 | d   | 25,39  | ± 1,71 | abcd |
| BT00510    | 23,56               | ± 1,66          | c  | 26,79  | ± 1,40 | a   | 20,52          | ± 1,67 | a   | 18,36  | ± 6,11 | ab   |
| BT02020    | 7,48                | ± 0,69          | a  | 14,96  | ± 0,88 | a   | 4,74           | ± 0,83 | a   | 10,22  | ± 0,44 | ab   |
| BT02030    | 12,54               | ± 0,38          | ab | 15,98  | ± 1,23 | a   | 9,37           | ± 0,14 | abc | 10,60  | ± 1,12 | ab   |
| BT02320    | 11,26               | ± 1,29          | a  | 14,81  | ± 0,76 | a   | 7,92           | ± 1,19 | abc | 7,78   | ± 0,85 | ab   |
| BT04030    | 13,96               | ± 0,72          | ab | 17,39  | ± 2,11 | bcd | 10,70          | ± 0,56 | cd  | 12,66  | ± 1,72 | bcd  |
| BT04060    | 10,15               | ± 1,95          | a  | 14,63  | ± 1,01 | d   | 7,53           | ± 2,22 | e   | 11,00  | ± 0,62 | d    |
| BT04090    | 11,34               | ± 0,44          | a  | 16,89  | ± 0,90 | a   | 8,47           | ± 1,24 | a   | 11,49  | ± 1,21 | ab   |
| BT04130    | 14,90               | ± 0,85          | ab | 15,18  | ± 0,61 | a   | 11,19          | ± 0,38 | abc | 10,90  | ± 0,38 | ab   |
| BT04140    | 13,98               | ± 2,36          | ab | 17,04  | ± 0,60 | a   | 10,43          | ± 2,15 | abc | 12,30  | ± 1,11 | ab   |
| BT04150    | 11,76               | ± 0,90          | a  | 18,76  | ± 1,43 | a   | 9,78           | ± 0,58 | abc | 13,25  | ± 0,12 | ab   |
| BT06240    | 15,27               | ± 1,76          | ab | 17,52  | ± 0,75 | a   | 12,89          | ± 1,50 | abc | 15,19  | ± 0,34 | ab   |
| BT06330    | 13,65               | ± 1,80          | ab | 24,94  | ± 1,26 | a   | 10,24          | ± 0,64 | abc | 19,40  | ± 2,56 | abc  |
| BT06440    | 20,73               | ± 2,16          | bc | 26,12  | ± 3,94 | bc  | 17,00          | ± 1,55 | abc | 19,88  | ± 3,62 | bcd  |
| BT06460    | 20,82               | ± 0,56          | bc | 28,30  | ± 1,84 | a   | 17,51          | ± 0,75 | a   | 23,80  | ± 2,85 | a    |
| BT08260    | 21,24               | ± 1,78          | bc | 14,16  | ± 1,81 | a   | 16,54          | ± 1,86 | a   | 9,11   | ± 1,72 | ab   |
| BT10050    | 14,73               | ± 1,39          | ab | 16,33  | ± 0,40 | a   | 10,35          | ± 1,32 | abc | 11,93  | ± 0,72 | ab   |
| BT10210    | 13,65               | ± 2,11          | ab | 15,09  | ± 3,31 | a   | 10,68          | ± 2,06 | a   | 10,16  | ± 3,76 | ab   |

| Accesiones | <b>(B) Ac. cítrico</b> |        |      |        |        |    | <b>Ac. málico</b> |        |     |        |        |     |
|------------|------------------------|--------|------|--------|--------|----|-------------------|--------|-----|--------|--------|-----|
|            | España                 |        |      | Italia |        |    | España            |        |     | Italia |        |     |
|            | Media                  | SE     |      | Media  | SE     |    | Media             | SE     |     | Media  | SE     |     |
| BT00310    | 5,85                   | ± 0,49 | abc  | 3,34   | ± 0,78 | ab | 0,67              | ± 0,09 | ab  | 0,41   | ± 0,02 | a   |
| BT00380    | 2,76                   | ± 0,60 | abc  | 3,25   | ± 0,46 | a  | 0,34              | ± 0,09 | a   | 0,45   | ± 0,14 | bc  |
| BT00400    | 5,11                   | ± 0,96 | abc  | 3,78   | ± 0,60 | a  | 0,24              | ± 0,12 | bcd | 0,28   | ± 0,02 | abc |
| BT00460    | 4,78                   | ± 0,62 | d    | 3,03   | ± 0,15 | ab | 0,93              | ± 0,20 | cd  | 0,66   | ± 0,19 | a   |
| BT00500    | 7,94                   | ± 0,36 | d    | 5,05   | ± 0,25 | bc | 0,14              | ± 0,03 | d   | 0,25   | ± 0,10 | a   |
| BT00510    | 9,17                   | ± 0,61 | abcd | 7,04   | ± 0,96 | a  | 0,13              | ± 0,00 | a   | 0,19   | ± 0,07 | a   |
| BT02020    | 5,46                   | ± 0,41 | abc  | 4,30   | ± 0,37 | a  | 1,64              | ± 0,03 | a   | 0,27   | ± 0,02 | a   |
| BT02030    | 7,23                   | ± 0,32 | bcd  | 4,88   | ± 0,31 | a  | 0,12              | ± 0,06 | abc | 0,34   | ± 0,13 | a   |
| BT02320    | 5,04                   | ± 0,26 | ab   | 3,96   | ± 0,36 | a  | 1,11              | ± 0,01 | abc | 0,89   | ± 0,10 | a   |
| BT04030    | 4,10                   | ± 0,27 | cd   | 3,60   | ± 0,55 | c  | 0,14              | ± 0,05 | cd  | 0,36   | ± 0,07 | a   |
| BT04060    | 5,28                   | ± 0,90 | bcd  | 4,62   | ± 0,02 | ab | 0,10              | ± 0,04 | e   | 0,22   | ± 0,03 | a   |
| BT04090    | 4,64                   | ± 0,45 | a    | 5,38   | ± 0,82 | a  | 0,04              | ± 0,00 | a   | 0,21   | ± 0,06 | a   |
| BT04130    | 4,96                   | ± 1,38 | d    | 3,04   | ± 0,25 | ab | 0,13              | ± 0,03 | abc | 0,42   | ± 0,07 | a   |
| BT04140    | 5,32                   | ± 0,59 | abc  | 2,93   | ± 0,15 | a  | 0,22              | ± 0,14 | abc | 0,25   | ± 0,02 | bc  |
| BT04150    | 4,94                   | ± 0,22 | abc  | 3,94   | ± 0,39 | a  | 0,27              | ± 0,20 | abc | 0,66   | ± 0,29 | a   |
| BT06240    | 6,72                   | ± 1,68 | abc  | 3,95   | ± 0,04 | a  | 0,06              | ± 0,01 | abc | 0,11   | ± 0,01 | a   |
| BT06330    | 4,85                   | ± 0,49 | bcd  | 5,14   | ± 1,42 | a  | 0,04              | ± 0,01 | abc | 0,21   | ± 0,02 | a   |
| BT06440    | 8,42                   | ± 1,03 | abc  | 8,63   | ± 0,73 | ab | 0,08              | ± 0,01 | abc | 0,14   | ± 0,02 | a   |
| BT06460    | 9,08                   | ± 0,58 | abc  | 5,40   | ± 1,06 | a  | 0,08              | ± 0,00 | a   | 0,18   | ± 0,08 | c   |
| BT08260    | 5,31                   | ± 0,56 | abc  | 3,02   | ± 0,34 | ab | 0,11              | ± 0,01 | a   | 0,57   | ± 0,11 | a   |
| BT10050    | 6,65                   | ± 0,65 | bcd  | 3,63   | ± 0,26 | ab | 0,52              | ± 0,22 | abc | 0,42   | ± 0,09 | a   |
| BT10210    | 9,02                   | ± 1,06 | abc  | 5,16   | ± 0,58 | ab | 0,07              | ± 0,01 | a   | 0,23   | ± 0,06 | a   |

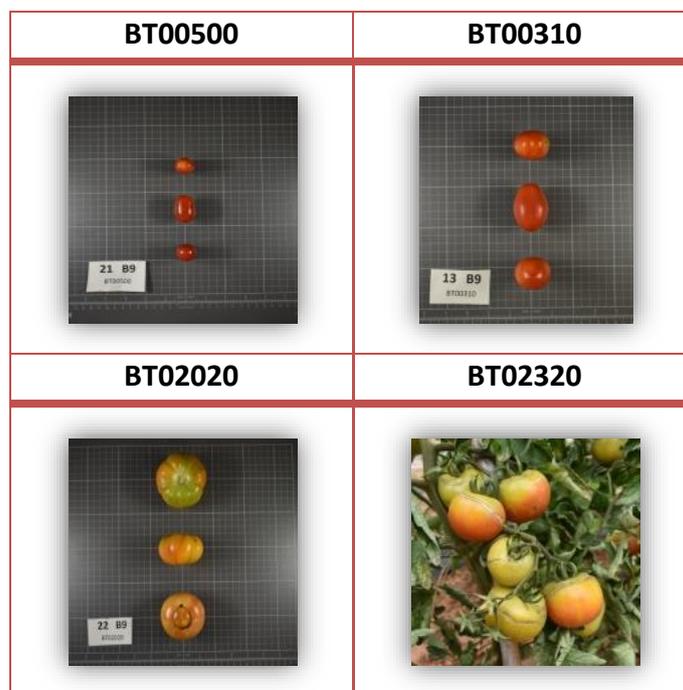
<sup>1</sup>Error estándar

Las medias  $\pm$  SE seguidas de la misma letra, dentro de una columna, no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ) según la prueba de Student-Newman-Keuls. Están señalados los valores máximos y mínimos para cada parámetro.

Para los valores medios de Glucosa (Tabla 4) podemos observar que de nuevo la accesión BT00500 es con diferencia la que más concentración posee, así como sucede con la Fructosa, tanto en los valores de España como en los de Italia. En los valores para Glucosa los rangos oscilan entre 4,74 g/L, de la accesión BT02020 así como también ocurría para los valores de Fructosa con la misma accesión, y 29,02 g/L de la accesión BT00500 para los valores obtenidos en España. En cuanto a los valores de Glucosa obtenidos en Italia los valores oscilan entre 7,78 g/L de la accesión BT02320 que esta vez no coincide con la misma accesión que daba el valor mínimo para el caso de la Fructosa y 25,39 g/L de la accesión BT00500. Los valores mínimos encontrados para glucosa tienen una respuesta similar que lo observado en fructosa, pero no ocurre lo mismo con los valores máximos, donde observamos que la cantidad de glucosa más elevada se ha medido en España.

La diferencia de tamaño y color es notoria entre estas variedades y posiblemente entre otros factores sean la causa de las altas diferencias en concentraciones de Fructosa entre ellas (Figura 15), como también han detectado otros autores Ya se había estudiado y observado que los tomates cherry y los tomates de tamaño pequeño normalmente son más dulces que los tomates de tamaño normal estándar (Figs et al., 2015; Zanon et al., 2009).

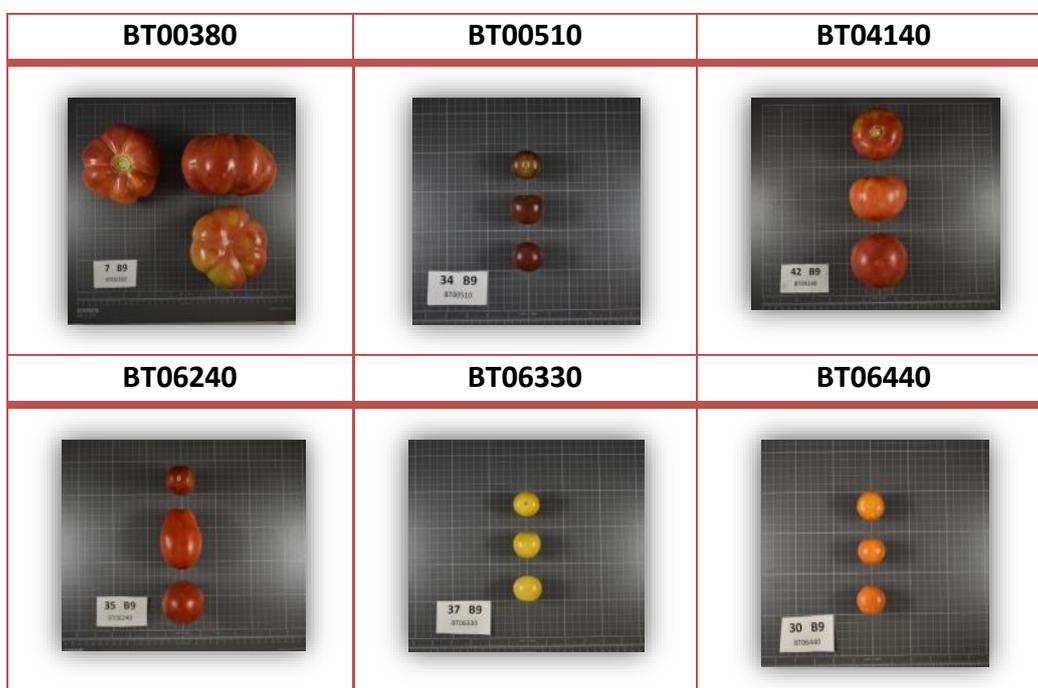
Al igual que para la Fructosa, la acumulación de Glucosa también debe variar, entre otros factores, por la variabilidad en cuanto a tamaño y color que tienen los frutos de tomate con los que hemos trabajado, resultados consistentes con lo que habían observado otros autores (Figs et al., 2015; Zanon et al., 2009).



**Figura 15.**Fotografías de las variedades BT00500 (Huevo de Paloma) , BT00310 (Cicereta de Menorca), BT02020 (Tomate de Colgar Verde) y BT02320 (Tomate de colgar) hechas en el laboratorio.

En cuanto a los valores medios para ácidos orgánicos (Tabla 4), observados para las accesiones de tomate estudiadas comparando entre España e Italia, la variabilidad de los resultados es mayor que en azúcares. Para azúcares hemos observado cómo algunas accesiones daban valores similares para los dos ambientes, sin embargo, en ácidos observamos que los rangos aunque no son tan amplios porque los valores son mucho más pequeños que los de azúcares, cada valor corresponde a una accesión diferente y no encontramos similitudes entre el comportamiento de las variedades en los dos ambientes.

Los rangos para los valores medios (Tabla 4) estudiados en España de ácido cítrico oscilan entre 2,76 g/L de la accesión BT00380 y 9,17 g/L de la accesión BT00510 (Figura 16) y entre 2,93 g/L para la accesión BT04140 y 8,63 g/L para la accesión BT06440 (Figura 16) en los valores medidos en las muestras procedentes de Italia. El comportamiento de este compuesto en los dos ambientes es similar, no observándose diferencias significativas.



**Figura 16.** Fotografías de las variedades BT00380 (Montserrat), BT00510 (Cherry ecológico), BT04140 (Rosada d'Ademuz), BT06240 (San Marzano 622), BT06330 (Snow white) y BT06440 (Gajo melón) hechas en el laboratorio.

En el caso del ácido málico los valores medios (Tabla 4) estudiados en España oscilan entre 0,04 g/L para la accesión BT06330 y 1,64 g/L para la accesión BT02020, mientras que para los valores medios de ácido málico estudiados en Italia (Tabla 4) el rango de valores oscila entre 0,11 g/L para la accesión BT06240 y 0,89 g/L para la accesión BT02320. Observando los datos medios, los valores mínimos son más elevados en Italia y esto podría indicar que los valores más elevados también iban a encontrarse en ese ambiente, lo que no se ha producido. Los valores más altos se han encontrado en España y además no en las mismas accesiones con buen comportamiento en Italia, lo que deja constancia de la elevada variabilidad de acumulación de compuestos, además de la elevada variabilidad en la respuesta de las accesiones en los distintos ambientes.

Todas estas accesiones son muy diferentes en cuanto a tamaños, formas y colores, tal como se observa en la Figura 16, soliendo coincidir las mayores concentraciones de ácidos con variedades de tamaño pequeño y las menores concentraciones con variedades de tamaño mediano-grande (Figas et al., 2015; Zanor et al., 2009).

Destaca la accesión BT02320 (Figura 15) que siendo la que menor concentración de Fructosa tenía para los datos estudiados en España, es la que mayor concentración de ácido cítrico posee.

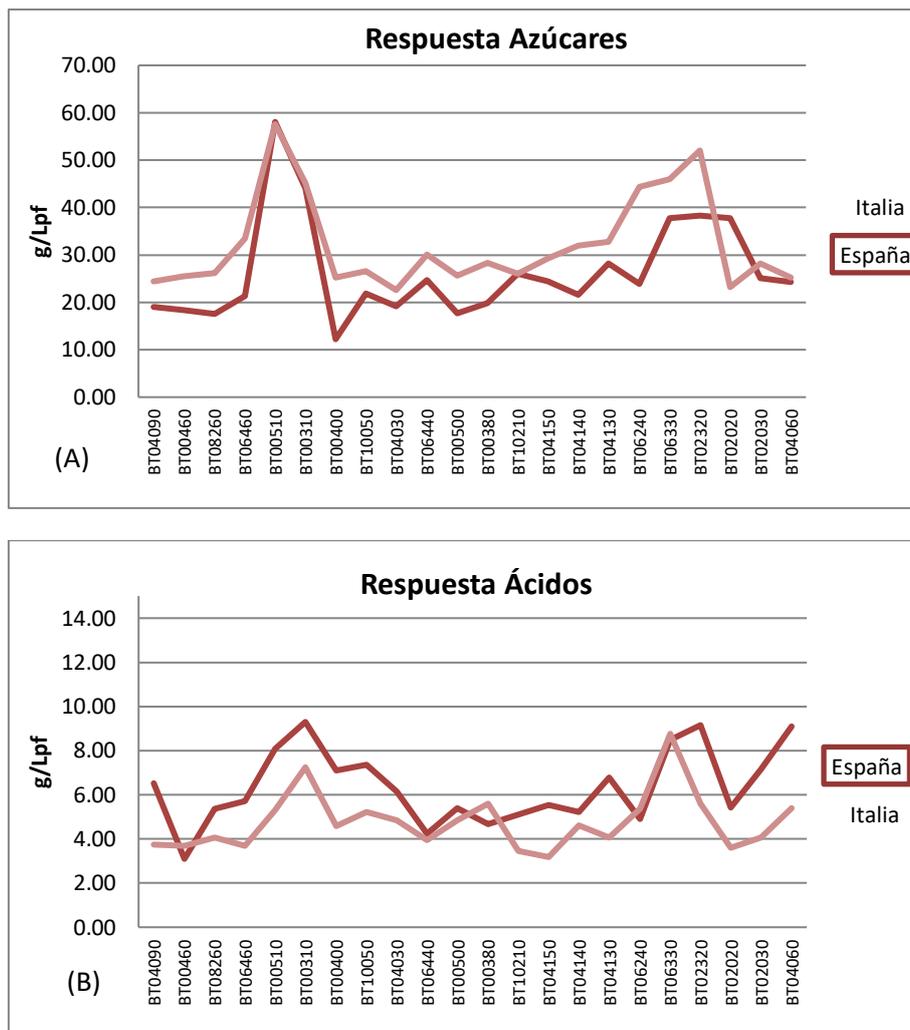
Y además cabe destacar también la accesión BT02020 (Figura 15) que posee la menor concentración de Glucosa para los datos estudiados en Italia, y a su vez contiene la mayor concentración de ácido málico dentro de los rangos estudiados.

### **4.3 Estudio de las interacciones observadas**

Tal y como podemos hemos comentado en el apartado 4.1 hemos podido observar interacción entre las accesiones estudiadas y los ambientes en los que han sido cultivadas (España e Italia).

Tal y como podemos hemos comentado en el apartado 4.1 hemos podido observar interacción entre las accesiones estudiadas y los ambientes en los que han sido cultivadas (España e Italia).

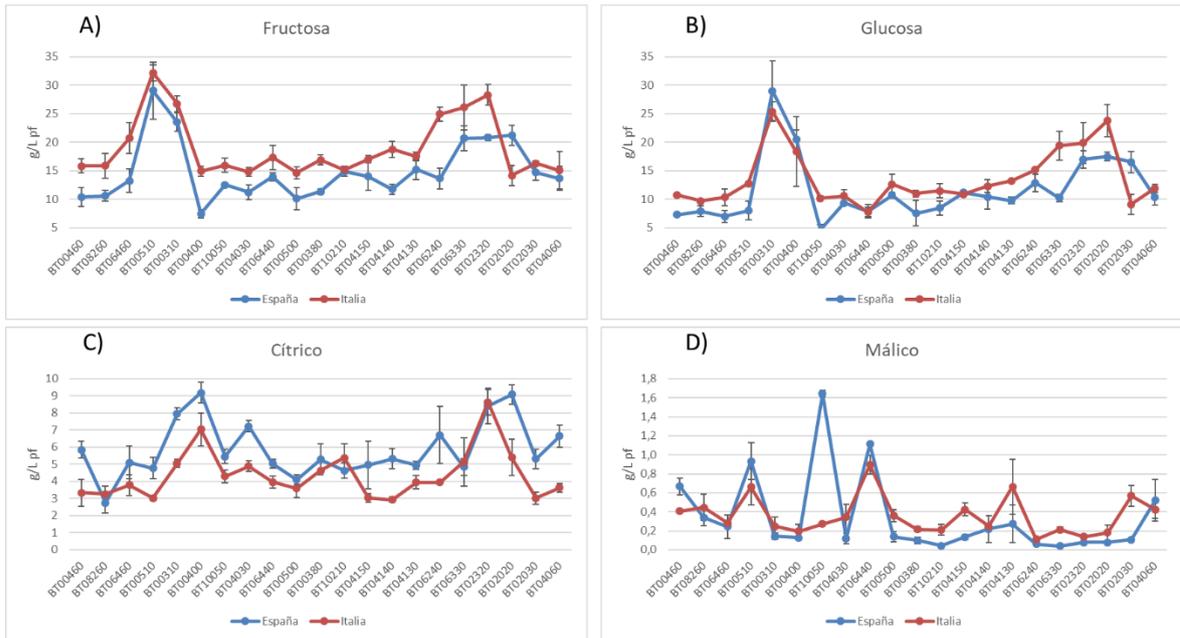
Si observamos los azúcares en conjunto (Figura 17 A) podemos observar que todas las accesiones estudiadas en España excepto la accesión BT02020 se encuentran por debajo de los valores de azúcares totales obtenidos en Italia. Del mismo modo y como era de esperar al observar que se ha detectado mayor concentración de azúcares en las muestras estudiadas en Italia, en la gráfica de los ácidos totales podemos observar que la gran mayoría de las accesiones estudiadas en Italia se encuentran por arriba de las estudiadas en España, lo que indica una mayor acumulación de ácidos totales.



**Figura 17.** Gráfica de la respuesta para los dos ambientes estudiados (Italia y España) de los azúcares totales (Fructosa y Glucosa) (A) y los ácidos totales (Cítrico y Mállico) (B). Concentración especificada en gramos por litro en peso fresco (g/Lpf)

Teniendo en cuenta la interacción que hemos observado anteriormente (Tabla 4) entre las accesiones estudiadas y los ambientes en que han sido plantadas, cultivadas y recogidas (España e Italia) se ha realizado además de un estudio de la interacción para azúcares y ácidos totales, para cada uno de los compuestos estudiados Fructosa (A), Glucosa (B), Cítrico (C), Mállico (D) (Figura 18).

En el caso de la fructosa, todos los valores de las accesiones analizadas en Italia tienen mayor concentración que las analizadas en España, excepto la accesión BT02020. Para la glucosa, la mayoría de las concentraciones analizadas en España también son menores que las analizadas en Italia al igual que en el caso de la Fructosa. Excepto las accesiones BT00310, BT00400 y BT02030 que presentan una mayor concentración de glucosa, cabe destacar que estas accesiones son de un tamaño mediano-pequeño y como han observado otros autores el tamaño del fruto influye directamente en la concentración de azúcares de este (Figs et al., 2015; Zanol et al., 2009).



**Figura 18.** Gráficas de la interacción entre ambientes (España e Italia) para los componentes estudiados: Fructosa (A), Glucosa (B), Ac. cítrico (C) y Ac. málico (D).

Observando la gráfica del ácido cítrico podemos comprobar que prácticamente todos los valores de las accesiones analizadas en España son más elevados que los valores de las accesiones analizadas en Italia, excepto BT00460 y BT00380 pero con una diferencia muy pequeña. En el caso del ácido málico los valores que hemos obtenido analizando las muestras tanto de un ambiente como del otro fueron tan pequeños en proporción que no se consideran tan representativos de las muestras como los del ácido cítrico, el cual se presentaba en grandes concentraciones y se podía discernir perfectamente su pico en el cromatograma analizado en el HPLC (Figura 12).

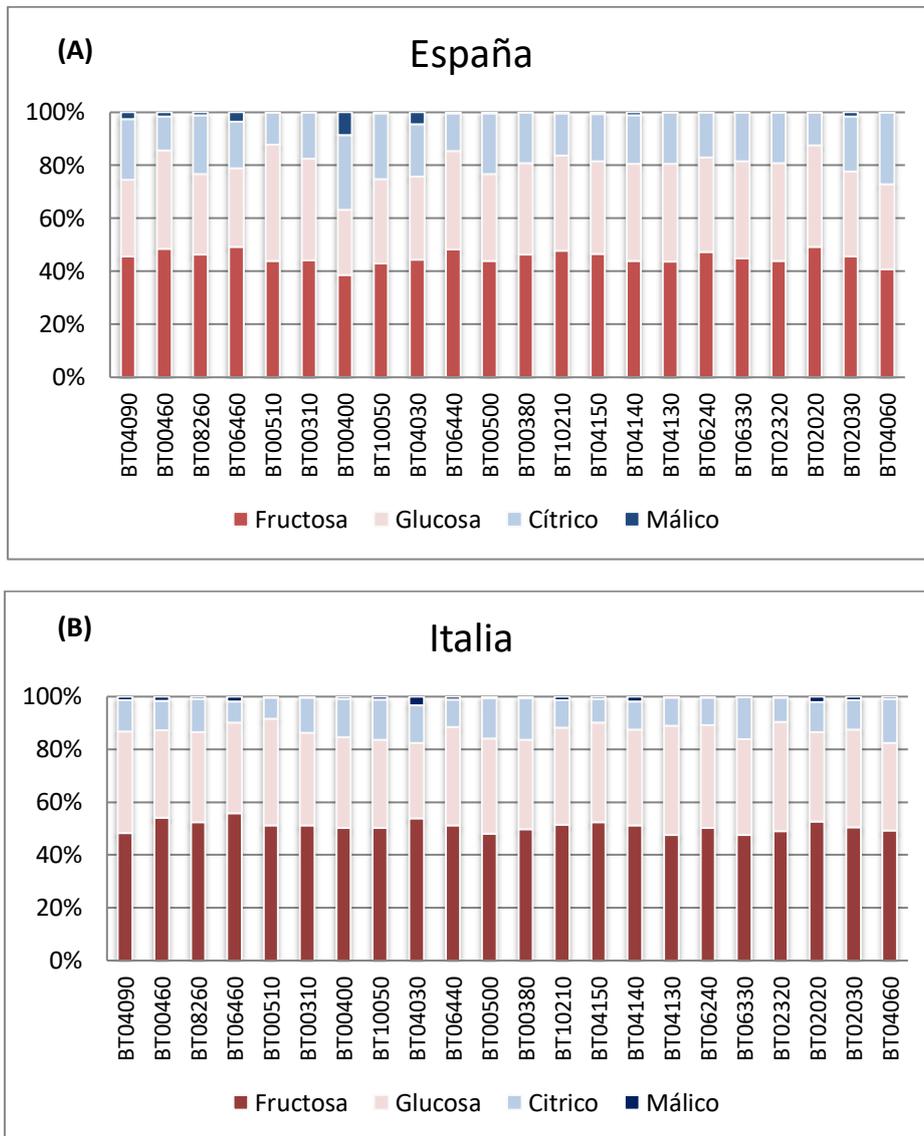
#### 4.4 Estudio de las proporciones de ácidos y azúcares

Expresando los contenidos de ácidos y azúcares para cada accesión en %, se obtuvieron los perfiles de cada una de las accesiones tanto en España como Italia. Observando los gráficos obtenidos (Figura 19) se pudo corroborar que los perfiles son muy similares. Destaca que las variedades presentan en España un perfil generalmente más ácido que estas mismas plantadas, cultivadas y recogidas en Italia.

La proporción en la que se distribuyen los componentes estudiados en los frutos es mayoritaria para los azúcares rondando 80 % en las variedades plantadas en España y el 50-85 % de la composición del fruto para las variedades plantadas en Italia.

Varios estudios han establecido que la calidad organoléptica del tomate para el consumo de fresco está condicionado principalmente por el incremento en ácidos orgánicos y azúcares. Los

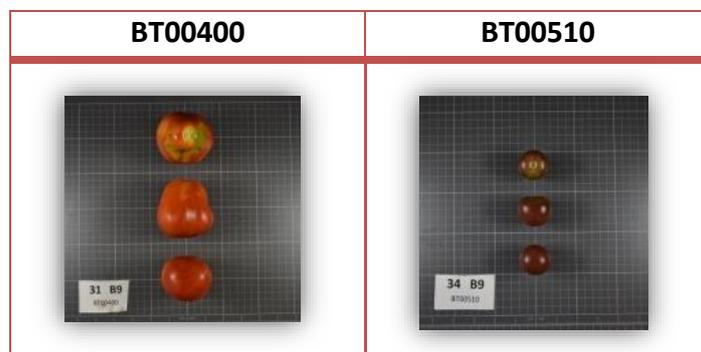
resultados se confirmaron y ampliaron, lo que sugiere que las condiciones ambientales y antecedentes genéticos condicionaron el sabor de la fruta del tomate (Carli et al., 2011)



**Figura 19.** Perfil acumulado de azúcares y ácidos de las accesiones estudiadas para ambos ambientes: España (A) e Italia (B).

Destaca la accesión BT00400 (Figura19 (A), 20), con frutos relativamente grandes y acorazonados, por tener un perfil visiblemente ácido teniendo en cuenta los datos mostrados en la gráfica de España (A), que mantiene, aunque en menor proporción en la gráfica donde se encuentran los datos de Italia (B) (Figura 19 (B)).

En cuanto al perfil de azúcares destaca la accesión BT00510 (Figura 20) por presentar un contenido visiblemente más alto en las gráficas acumulativas de ambos países (A) y (B) que la del resto de accesiones estudiadas (Figura 19).



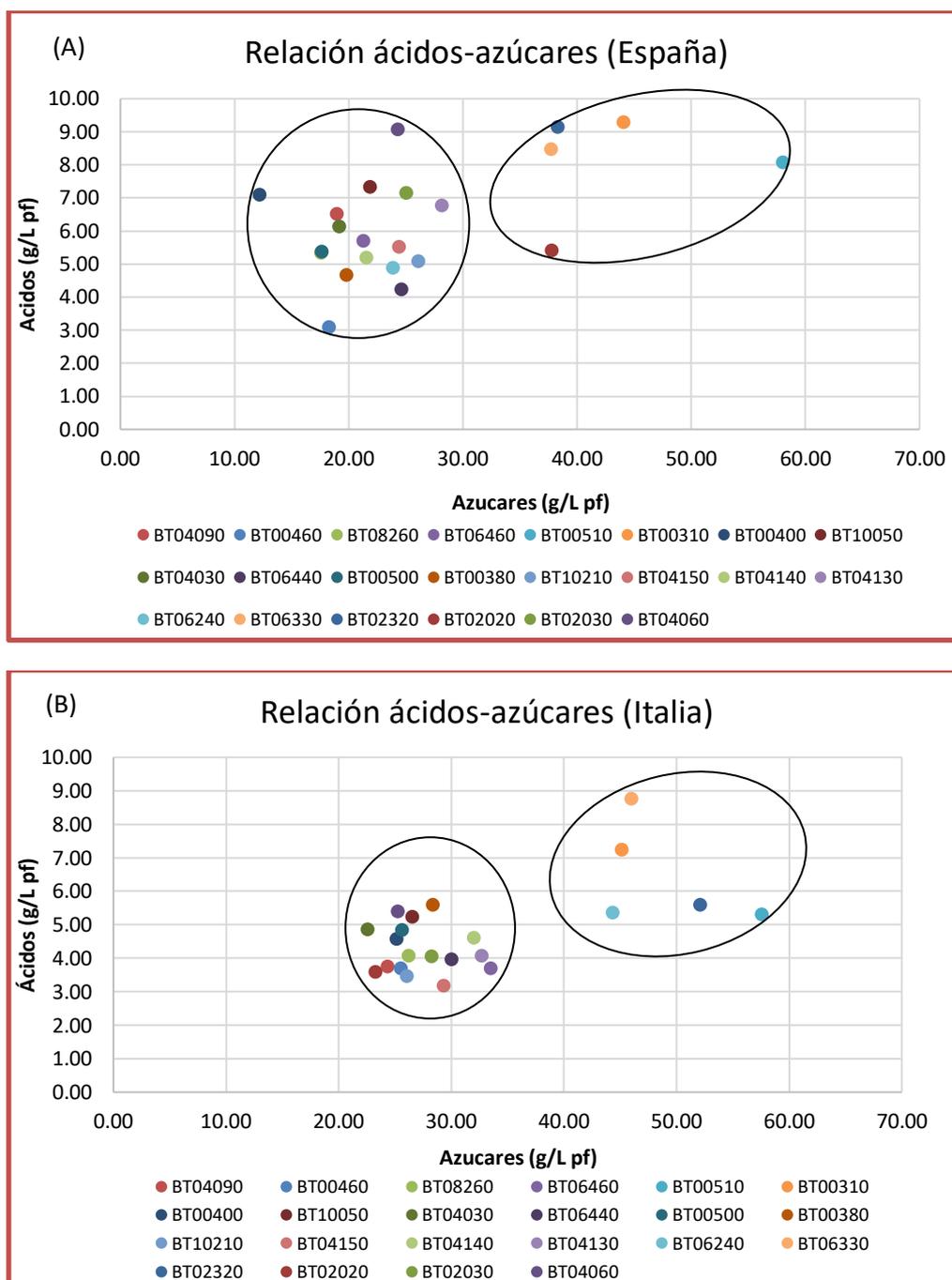
**Figura 20.** Fotografías de las variedades BT00400 (De Borseta) y BT00510 (Cherry ecológico) hechas en el laboratorio.

Como podemos comprobar observando la figura 20 el tamaño de la accesión Cherry ecológico (BT00510) es relativamente pequeño en comparación con De Borseta (BT00400), esta diferencia de tamaño está relacionada con el hecho que su cantidad de agua sea menor que en otras variedades y por tanto tenga relación con su alta concentración de azúcares (Figura 4.4.2), como ya habían observado otros autores (Figs et al., 2015; Zanor et al., 2009).

#### **4.5 Estudio de la relación entre ácidos y azúcares para los ambientes estudiados**

En el estudio de la relación de ácidos y azúcares para España e Italia podemos observar como la mayoría de las variedades conforman un grupo más o menos definido donde presentan una relación entre ácidos y azucares uniforme, sin embargo, encontramos 5 variedades en cada uno de los ambientes que se agrupan separadamente del resto. Analizando estas agrupaciones, vemos que 4 de las accesiones con un comportamiento diferencial, se comportan de esta manera en los dos ambientes, mientras que la accesión BT02020 solo se encuentra presente en España y la BT06240 presenta esta respuesta en Italia. (Figura 21).

En la Figura 21 (A), correspondiente a los datos analizados en España, podemos ver un grupo más o menos homogéneo donde las variedades no sobrepasan las concentraciones de 30 g/L en azucares y oscilan entre 3 g/L y 10 g/L en ácidos. Destacan 5 variedades que se salen de este grupo con concentraciones mucho más altas en cuanto azúcares totales se refiere, y 4 de ellas con concentraciones también bastante altas en cuanto a ácidos totales.



**Figura 21.** Gráfico de dispersión representativo de la relación entre ácidos (cítrico y málico) y azúcares (Glucosa y Fructosa) de las accesiones de tomates representadas para los ambientes estudiados: España (A) e Italia (B). Concentración especificada en gramos por litro en peso fresco (g/Lpf)

En el caso de la gráfica de los datos analizados para Italia (Figura 21 (B)), el primer grupo es mucho más homogéneo que en el caso de España con valores de concentración de ácidos que no superan en ningún caso los 6 g/L y los 35 g/L en el caso de los azúcares totales. También destacan 5 variedades saliendo del grupo homogéneo con valores mucho más altos que el

resto en concentración de azúcares y 2 de ellas con concentraciones de ácidos mayores a 7 g/L.

En ambas gráficas las accesiones que destacan por una relación entre azúcares y ácidos mayor que el resto de variedades son las accesiones BT06330, BT00310, BT02320 y BT00510. Sin embargo, la accesión BT06240 corresponde también a este grupo en el caso de las muestras analizadas para Italia, pero no para las analizadas en España, siendo la accesión BT2020 la que ocupa su puesto en este grupo.

#### 4.6 Evaluación de los efectos del nitrógeno y del riego sobre los componentes del sabor

Con las medias de los componentes del sabor estudiados (azúcares y ácidos) y la prueba de rangos múltiples para los distintos tratamientos empleados a la hora de cultivar las accesiones del ensayo (Tabla 5) podemos observar en el caso de los azúcares, que el tratamiento LI (Bajo aporte hídrico) provoca que las accesiones acumulen de media 2 g/L más que las mismas accesiones cultivadas en los tratamientos ST(Estándar) y LF (Bajo aporte de nitrógeno) tanto para el caso de la fructosa como para la glucosa, haciendo significativamente distinto este tratamiento a los otros dos.

Para el caso de los azúcares cabía esperar que a menor cantidad de agua recibida por el fruto, más concentrados se iban quedar los azúcares que presenta, respuesta que se ha visto confirmada o reforzada por nuestros datos.

**Tabla 5.** Media  $\pm$  error estándar para los azúcares (fructosa y glucosa) y ácidos (cítrico y málico) para cada uno de los tratamientos estudiados (ST, LF, LI).

| Tratamiento     | Fructosa |                 |   | Glucosa |            |   | Cítrico |            |   | Málico |            |   |
|-----------------|----------|-----------------|---|---------|------------|---|---------|------------|---|--------|------------|---|
|                 | Media    | SE <sup>1</sup> |   | Media   | SE         |   | Media   | SE         |   | Media  | SE         |   |
| ST <sup>2</sup> | 16,78    | $\pm$ 0,88      | a | 12,52   | $\pm$ 0,72 | a | 5,22    | $\pm$ 0,35 | b | 0,34   | $\pm$ 0,05 | a |
| LF <sup>3</sup> | 16,57    | $\pm$ 1,02      | a | 12,16   | $\pm$ 0,92 | a | 4,76    | $\pm$ 0,35 | a | 0,38   | $\pm$ 0,05 | a |
| LI <sup>4</sup> | 18,45    | $\pm$ 2,09      | b | 14,44   | $\pm$ 0,81 | b | 5,77    | $\pm$ 0,42 | c | 0,35   | $\pm$ 0,05 | a |

<sup>1</sup>Error estándar; <sup>2</sup>STANDARD; <sup>3</sup>LOW FERTILIZATION; <sup>4</sup>LOW IRRIGATION

Las medias  $\pm$  SE seguidas de la misma letra, dentro de una columna, no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ) según la prueba de Student-Newman-Keuls.

En el caso de los ácidos los resultados no han sido tan claros. Para el contenido en ácido cítrico, los 3 tratamientos empleados son significativamente diferentes, mientras que en ácido málico no existen diferencias entre ellos.

Concretamente para el ácido cítrico, es posible que la reducción de nitrógeno en la fertilización del campo donde van a ser cultivadas las variedades de tomate, influya en una menor

concentración de ácidos por parte del fruto y que una menor irrigación provoque una mayor concentración de estos como en el caso de los azúcares habiendo una diferencia de 1 g/L de diferencia entre ambos tratamientos. Para el málico, las cantidades que se detectaron eran siempre muy pequeñas y es posible que dicho factor no haya permitido ver las diferencias entre tratamientos. Contrasta directamente con otros estudios en los que demuestran que la concentración de ácido málico varía significativamente con el ambiente (Cebolla-Cornejo et al. 2011).

Los resultados de este estudio siguen la misma línea que otros estudios en los se ha demostrado que el tomate puede crecer bajo riego deficitario sin una reducción significativa en el rendimiento. Además, también se pueden mejorar las características que determinan la calidad de la fruta, como el contenido de azúcar y fracciones antioxidantes. Estos hallazgos parecen contradictorios, pero sugieren que el uso del régimen adecuado de riego deficitario puede ahorrar cantidades considerables de agua, manteniendo la producción y la calidad del tomate (Hanson et al. 2006; Favati et al. 2009)

## 5. CONCLUSIONES

Con los datos obtenidos en este trabajo hemos llegado las siguientes conclusiones:

1. El análisis en el contenido de azúcares reductores (fructosa y glucosa) y los ácidos orgánicos más representativos del fruto de tomate (ácido málico y cítrico) nos ha permitido clasificar las variedades estudiadas en función de su respuesta al cultivo en bajos insumos.
2. La mayor parte de la variabilidad encontrada para azúcares y ácidos se explicó por el efecto de la variedad, confirmando la respuesta diferencial esperada en variedades con un distinto tamaño y morfología. Las variedades *Huevo de Paloma*, *Cirereta de Menorca* y *Tomate de colgar verde* han resultado ser las variedades que mostraron un perfil claramente más dulce en condiciones control o estándar.
3. Respecto a la respuesta de las variedades estudiadas en los diferentes ambientes (España e Italia), se han observado diferencias significativas tanto en azúcares como en ácidos. Se ha encontrado un perfil más dulce en Italia que en España, debido en mayor parte al aumento en el contenido en fructosa. Las muestras más ácidas se han localizado en España, observándose valores más elevados en el contenido en ácido cítrico.
4. La reducción en el aporte hídrico, en ambos países, a un 30% de la cantidad de riego habitual, ha resultado en un aumento, de media, de 2 g/L en el contenido en los azúcares (fructosa y glucosa) en todas las variedades utilizadas. Esta respuesta nos sugiere que aunque la planta se vea sometida a un cierto nivel de déficit hídrico, la calidad organoléptica no se ve afectada, incluso puede llegar a mejorar, lo que favorece el ahorro de recursos.
5. El contenido en ácido cítrico también se ha visto influenciado por los tratamientos realizados. El contenido de cítrico ha resultado mayor cuando se han sometido las plantas a un estrés hídrico, sin embargo, éste se ha reducido cuando hemos eliminado del ensayo los aportes suplementarios de nitrógeno. No se ha observado ninguna respuesta diferencial en la acumulación de ácido málico en las variedades analizadas en ninguno de los dos tratamientos.
6. Este estudio muestra que dentro de las variedades tradicionales se pueden encontrar materiales muy interesantes para usar "per se" en consumo en fresco o en industria, y también en programas de mejora vegetal en las que la finalidad sea recuperar un sabor más intenso en frutos de tomate utilizando condiciones de bajos insumos.

## Bibliografía

ABUSHITA, A.; HEBISHI, E.; DAOOD, H.; BIACS, P. (1997). Determination of antioxidant vitamins in tomatoes. *Food Chemistry.*, 60: 207-212.

BAI, Y.; LINDHOUT, P. (2007). Domestication and breeding of tomatoes: what have we gained and what can we gain in the future?. *Annals of botany.*, 100: 1085-1094.

BALDWIN, E.A.; SCOTT, J.W.; SHEWMAKER, C.K.; SCHUCH, W. (2000). Flavor trivia and tomato aroma: biochemistry and possible mechanisms for control of important aroma components. *HortScience.*, 35: 1013-1021.

BALL, S.; LLOYD, L. (2011). Agilent Hi-Plex Columns for Carbohydrates, Alcohols, and Acids. Agilent Technologies, 1-4.

BRUHN, C.M.; FELDMAN, N.; GARLITZ, C.; HARWOOD, J.; IVANS, E.; MARSHALL, M.; RILEY, A.; THURBER, D.; WILLIAMSON, E. (1991). Consumer perceptions of quality: apricots, cantaloupes, peaches, pears, strawberries, and tomatoes. *Journal of Food Quality.*, 14: 187-195.

CARLI, P.; BARONE, A.; FOGLIANO, V.; FRUSCIANTE, L.; ERCOLANO, M.R. (2011). Dissection of genetic and environmental factors involved in tomato organoleptic quality. *BMC Plant Biology.*, 11: 58.

CARRAVEDO, M.; RUIZ, J.I. (2005). Variedades autóctonas de tomate del País Vasco. Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco. *Colección LUR.*, 7: 131.

CEBOLLA-CORNEJO, J.; ROSELLÓ, S.; VALCARCEL, M.; SERRANO, E.; BELTRAN, J.; NUEZ, F. (2011). Evaluation of Genotype and Environment Effects on Taste and Aroma Flavor Components of Spanish Fresh Tomato Varieties. *J. Agric. Food Chem.*, 59: 2440–2450

CEBOLLA-CORNEJO, J.; SOLER, S.; NUEZ, F. (2012). Genetic erosion of traditional varieties of vegetable crops in Europe: tomato cultivation in Valencia (Spain) as a case study. *International Journal of Plant Production.*, 1: 113-128.

CHAMARRO, J. (2003). Anatomía fisiología de la planta. En: *El cultivo del tomate*. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, 43-91.

COSTA, J.M.; HEUVELINK, E. (2005). Introduction: The tomato crop and industry. En: *Tomatoes*. Ed. CAB International, UK, 1-19.

CUARTERO, J. (2001) Tomate para consumo en fresco. En: *La Horticultura Española*. Nuez, F. y Yacer, G. Ed. Ediciones de Horticultura, 233-242.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) (2019). FAOSTAT. <http://www.fao.org/faostat/> (Consulta Mayo 2021)

FAVATI, S.; LOVELLI, F.; GALGANO, V.; MICCOLIS, T.; DI TOMMASO, V. (2009). Processing tomato quality as affected by irrigation scheduling. *Sci. Hortic.*, 122: 562-571

FIBL (The Research Institute of Organic Agriculture); IFOAM (International Federation of Organic Agriculture Movements) (2021). <https://www.fibl.org/en>, <https://www.ifoam.bio/> (Consulta Mayo 2021).

FIGAS, M. R.; PROHENS, J.; RAIGÓN, M. D.; FERNÁNDEZ-DE-CÓRDOVA, P.; FITA, A.; SOLER, S. (2015). Characterization of a collection of local varieties of tomato (*Solanumlycopersicum* L.) using conventional descriptors and the high-throughputphenomics tool Tomato analyzer. *Genetic Resource and Crop Evolution*, 62: 189-204.

FIGÀS, M.R.; PROHENS, J; RAIGÓN, M.D.; FERNÁNDEZ DE CÓRDOVA, P.; FITA, A; SOLER, S. (2014). Caracterización y tipificación de una colección de variedades tradicionalesde tomate (*Solanumlycopersicum*L.) de València. *AgrícolaVergel.*, 373: 118-124.

GUR, A.; ZAMIR, D.(2004). Unused natural variation can lift yield barriers in plant breeding. *PLoSBIol.*, 2: 245.

HAJJAR, R.; HODGKIN, T.(2007). The use of wild relatives in crop improvement: a surveyof developments over the last 20 years. *Euphytica.*, 156: 1-13

HANSON, R.B.; HUTMACHER, D.M.(2006). May Drip irrigation of tomato and cotton under shallow saline ground water conditionsIrrig. Drain. Syst., 20: 155-175.

IPCC (Intergovernmental panel onclimatechange).(2014). In: Proceedings of the 5th Assessment Report, WGII, Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Cambridge University Press, Cambridge Available at: <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/>, Accessed on May 2021

JACK, D.B. (1995) Keep taking the tomatoes -the exciting world of nutraceuticals.*Molecular Medicine Today.*, 1: 118–121.

MCGLASSON, W.B.; LAST, J.H.; SHAW, K.J.; MELDRUM, S.K.:(1987). Influence of the nonripening mutants rin and nor on the aroma of tomato fruit. *HortScience*, USA., 22: 632-634.

NAVARRO, J.M.; FLORES, P.; GARRIDO, C.; MARTINEZ, V. (2006).Changes in the contents of antioxidant compounds in pepper fruits at different ripening stages, as affected by salinity. *Food chemistry.*, 96: 66-73.

PRETEL, M.T.; SERRANO, M.; RIQUELME, F.; ROMOJARO, F. (1993).La calidad de la producción hortícola. En: *Maduración y post-recolección' 93. La calidad en frutos y hortalizas (eds. Albi, MA, Gutiérrez, F., Roca, M.)*. Diputación de Sevilla, Sevilla, España. 329-334.

RICK, C. M. (1976). Tomato (family Solanaceae). In: *Simmonds, N. W.* Ed. Evolution of Crop Plants. Longman Publications, New York. 268-273.

RICK, C.M.; CHETELAT, R.T.(1995). Utilization of related wild species for tomato improvement. *Actahorticulturae*, 412: 21-38.

ROSELLÓ, S.; NUEZ, F. (2006). Mejora de la calidad del tomate para fresco. En: G. Llácer, M. Díez, J. Carrillo and M. Badenes, Ed. *Mejora Genética de la Calidad en Plantas*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia. 333-359.

STEVENS, M.R.; SCOTT, S.J.; GERGERICH, R.C. (1991). Inheritance of a gene for resistance to tomato spotted wilt virus (TSWV) In: *Lycopersicon peruvianum* Mill. *Euphytica.*, 59: 9-17.

STOPES, C.; SCHLÜTER, M.; KÖLLING, A. (2010). Impulsar y defender al sector de la producción ecológica en Europa. *AE Revista de divulgación técnica.* 1: 12-15

VIDAVSKI, F.; CZOSNEK, H.; GAZIT, S.; LEVY, D.; LAPIDOT, M. (2008). Pyramiding of genes conferring resistance to Tomato yellow leaf curl virus from different wild tomato species. *Plant Breeding.*, 127: 625-631.

WPTC. (The World Processing Tomato Council). (2021). Releases. [www.wptc.to /releases-wptc.php](http://www.wptc.to/releases-wptc.php) (consulta mayo 2021)

ZANOR, M. I.; RAMBLA, J. L.; CHAIB, J.; STEPPA, A.; MEDINA, A.; GRANELL, A.; FERNIE, A. R.; CAUSSE, M. (2009). Metabolic characterization of loci affecting sensory attributes in tomato allows an assessment of the influence of the levels of primary metabolites and volatile organic contents. *Journal of Experimental Botany.*, 60: 2139-2154.