



**VNiVERSiDAD  
D SALAMANCA**

Departamento de Estadística

Máster en Análisis Avanzado de Datos Multivariantes

Trabajo Fin de Máster

# **ESTUDIO DE LA VARIACIÓN ESTACIONAL DEL SABOR DEL TOMATE**

Marcos Hernández Suárez (alumno)

Purificación Galindo Villardón (tutora)

2011



VNiVERSiDAD  
D SALAMANCA

Dpto. de Estadística

Universidad de Salamanca

**Dña. Purificación Galindo Villardón**, *Profesora titular del Departamento de Estadística de la Universidad de Salamanca*

---

CERTIFICA que **D. Marcos Hernández Suárez** ha realizado en la Universidad de Salamanca, bajo su dirección, el trabajo que para optar título de Máster en Análisis Avanzado de Datos Multivariantes presenta con el título ***Estudio de la variación estacional del sabor del tomate***, autorizando expresamente su lectura y defensa.

Y para que conste, firma el presente certificado en Salamanca a 8 de julio de 2011.

Dña. Purificación Galindo Villardón

## **AGRADECIMIENTOS**

Quisiera mostrar mis más sinceros agradecimientos al Departamento de Estadística de la Universidad de Salamanca por el esfuerzo que han hecho para que alumnos como yo, que hemos cursado el máster lejos de las aulas, lo hayamos podido realizar con la misma calidad que si se hubiese seguido de forma presencial.

Igualmente, deseo recalcar mi agradecimiento a Dña. Purificación Galindo que acertadamente me brindó la oportunidad de cursar el Máster en Análisis Avanzado de Datos Multivariante, por el asesoramiento prestado a lo largo del curso y en la realización del Trabajo de Fin de Máster.

Asimismo, destacar que sin el apoyo de mi empresa, el Centro Tecnológico Nacional Agroalimentario "Extremadura (CTAEX), esta aventura no hubiese sido posible por lo que agradezco enormemente la apuesta personal que han hecho hacia mí.

En último lugar, pero no menos importante, extender este agradecimiento a todas aquellos a los que les robé tiempo de estar juntos para poder asistir a las clases: mi familia y mis amigos.

## ÍNDICE GENERAL

<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>4</b>
<b>II. OBJETIVOS.....</b>	<b>9</b>
<b>III. MATERIAL Y MÉTODOS .....</b>	<b>12</b>
III.1 Muestras de tomate .....	13
III.2 Características del muestreo .....	15
III.3 Métodos analíticos .....	17
III.3.1 Métodos volumétricos .....	17
III.3.2 Métodos espectrofotométricos .....	20
III.3.3 Métodos cromatográficos .....	22
III.4 Análisis estadístico .....	26
III.4.1 HJ-Biplot.....	26
III.4.2 STATIS-dual .....	32
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>36</b>
IV.1 Discusión agrobiológica.....	37
IV.2 Discusión bromatológica.....	48
<b>V. CONCLUSIONES .....</b>	<b>58</b>
<b>VI. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>61</b>
<b>VII. ANEXOS.....</b>	<b>67</b>
VII.1 Tablas con los valores medios por fecha	
VII. 2 Rutas metabólicas del ácido ascórbico	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Características del muestreo .....	15
<b>Tabla 2.</b> Parámetros instrumentales para la determinación de minerales .....	21
<b>Tabla 3.</b> Calidades de representación de los Biplot.....	30
<b>Tabla 4.</b> Características climáticas de los meses de recolección .....	37
<b>Tabla 5.</b> Calidad de representación.....	38
<b>Tabla 6.</b> Calidad de representación acumulada en el primer plano .....	42
<b>Tabla 7.</b> Inercia explicada por cada dimensión .....	49
<b>Tabla 8.</b> Matriz de correlaciones vectoriales .....	50
<b>Tabla 9.</b> Valores de distintos factores.....	50
<b>Tabla 10.</b> Valores medios (g/kg) obtenidos en el mes de octubre.....	ANEXO VII.1
<b>Tabla 11.</b> Valores medios (g/kg) obtenidos en el mes de diciembre.....	ANEXO VII.1
<b>Tabla 12.</b> Valores medios (g/kg) obtenidos en el mes de febrero.....	ANEXO VII.1
<b>Tabla 13.</b> Valores medios (g/kg) obtenidos en el mes de abril.....	ANEXO VII.1

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Estructura química del licopeno .....	5
<b>Figura 2.</b> Etapas simplificadas de la maduración del tomate .....	8
<b>Figura 3.</b> Tipología de la matriz de datos .....	11
<b>Figura 4.</b> Variedad de tomate Boludo.....	13
<b>Figura 5.</b> Variedad de tomate Dominique.....	13
<b>Figura 6.</b> Variedad de tomate Dunkan.....	13
<b>Figura 7.</b> Variedad de tomate Thomas .....	14
<b>Figura 8.</b> Variedad de tomate Dorothy .....	14
<b>Figura 9.</b> Escala Klaur-Stadia Tomaten.....	16
<b>Figura 10.</b> Tipos de representaciones Biplot .....	28
<b>Figura 11.</b> Tipos de métodos STATIS .....	32
<b>Figura 12.</b> Esquema del método STATIS-dual .....	35
<b>Figura 13.</b> Scree plot obtenido con el HJ-Biplot.....	38
<b>Figura 14.</b> Representación de las variables obtenidas en el HJ-Biplot.....	39
<b>Figura 15.</b> Esquema simplificado de la glucólisis y ciclo de Krebs .....	40
<b>Figura 16.</b> Distribución de los individuos obtenidos en el HJ-Biplot .....	44
<b>Figura 17.</b> Representación del HJ-Biplot.....	46
<b>Figura 18.</b> Representación de los valores propios .....	48
<b>Figura 19.</b> Interestructura .....	49
<b>Figura 20.</b> Representación de las variables compromiso .....	51
<b>Figura 21.</b> Trayectoria de las variables .....	53
<b>Figura 22.</b> Representación conjunta .....	55
<b>Figura 23.</b> Rutas metabólicas del ácido ascórbico.....	ANEXO VII.2

# I. INTRODUCCIÓN

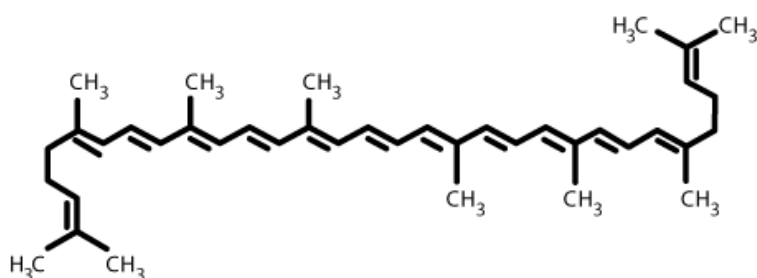


Como consecuencia del cambio de estilo de vida en los países desarrollados en las últimas décadas, han aparecido estudios de diversa índole encaminados a evaluar la relación entre hábitos de vida y salud, reflejándose en muchos casos la necesidad de llevar una dieta equilibrada y realizar ejercicio físico para contrarrestar los efectos de estos cambios.

En este sentido, la comunidad médica señala que el consumo de frutas y verduras tienen un claro beneficios para la salud humana, habiéndose demostrado los efectos de la ingesta de alimentos vegetales en la reducción del riesgo de padecer ciertos tipos de cáncer y enfermedades cardiovasculares. Esta es una de las razones por lo que la dieta mediterránea tiene gran aceptación entre consumidores y especialistas de la salud y nutrición (Lasheras et al., 2002).

Uno de los principales ingredientes de esta dieta son los tomates, que suponen una buena fuente de minerales, vitaminas, fibra alimentaria (especialmente fibra insoluble) y compuestos antioxidantes. Aportan bajos niveles de grasas y calorías, además de no contener colesterol (Davies y Hobson, 1981; Lenucci, Cadinu, Taurino, Piro y Dalesandro, 2006). Algunos autores han clasificado al tomate dentro del grupo de alimentos funcionales debido a sus beneficios fisiológicos adicionales además de mantener los requerimientos nutricionales básicos (Canene-Adams et al., 2005; Giuntini et al., 2005).

En una revisión de 72 estudios epidemiológicos realizado por Giovannucci (1999), se encontró que en 57 de ellos había una relación inversa entre la ingesta de tomate y/o los niveles de licopeno en sangre, con el riesgo de padecer cáncer de próstata, pulmón y estómago o enfermedades cardiovasculares (Figura 1).



**Figura 1.** Estructura química del licopeno

El tomate, y sus productos derivados, se encuentran totalmente integrados en la cultura gastronómica prácticamente de todo el mundo. Se trata de una planta de origen americano que pertenece a la familia de las solanáceas y a la especie *Solanum lycopersicum*.



Es considerado una fruta/hortaliza y posee una enorme variabilidad de genotipos por presentar variaciones en aspectos tales como el color, talla y forma. Según Azondanlou, Darbellay, Luisier, Villettaz y Amadò (2003), estos parámetros no garantizan por sí sólo el consumo de tomates sino que es necesario tener en cuenta el contenido de azúcares, ácidos orgánicos y compuestos volátiles para determinar las propiedades sensoriales del producto y, por tanto, su adquisición por parte del consumidor.

Al respecto, Audisio, Dante, Cicco y Suraci (1993), Buta y Spaulding (1997), Giovanelli, Lavelli, Peri y Nobili (1999) y Abushita, Daood y Biacs (2000) ponen de manifiesta que la calidad nutritiva y organoléptica del tomate, y de los alimentos vegetales en general, se pueden ver afectada por las técnicas agrícolas practicadas para su producción, las condiciones ambientales en las que se desarrolle el cultivo, el estado de madurez del fruto, la variedad e incluso el manejo que se realice en postcosecha o en la planta de procesado.

En este sentido, los consumidores tienen la percepción de que los alimentos ecológicos son mejores y tienen mayor sabor que los convencionales pero desde la comunidad científica no se ha encontrado pruebas concluyentes sino mas bien contradictorias (Yiridoe, Bonti-Ankomah y Martin, 2005)

Heaton (2001) concluyó que los alimentos ecológicos parecen tener mayores niveles de vitamina C, algunos minerales esenciales (Ca, Mg, Fe) y fitoquímicos como el licopeno en el tomate, polifenoles en papas, flavonoles en manzanas, etc. En cambio, en los sistemas convencionales o intensivos se ha observado que una alta aplicación de fertilizantes nitrogenados parecen disminuir la concentración de fenoles, contrariamente a lo que sucede con el contenido de carotenoides en frutas y vegetales que tiende a aumentar con una mayor fertilización nitrogenada (Mozafar, 1993).

Otra consecuencia interesante del uso de fertilizantes nitrogenados es que la planta utiliza este tipo de compuestos para la síntesis de aminoácidos que constituirán las proteínas. Un uso limitado del mismo se traduce en una menor cantidad de proteínas en el cultivo, algo que se ha demostrado que sucede en el cultivo ecológico. Sin embargo, algunos autores (Woese, Lange, Boess y Bogl, 1997; Kumpulainen, 2001; Bourn y Prescott, 2002) han señalado que la calidad de la misma es mayor, es decir, el contenido de aminoácidos esenciales es mayor.

Otros estudios apuntan que la acidez del tomate aumenta con la fertilización nitrogenada y disminuye con el fósforo (Wright y Harris, 1985). La combinación de una fertilización elevada en nitrógeno y potasio favorece también la actividad de las enzimas pépticas, el rendimiento en frutos y reduce la incidencia de las alteraciones en la maduración.

La actividad agraria también tiene efecto sobre otras sustancias de interés para la salud humana, como son los compuestos antioxidantes. Desde un punto de vista ecológico, la presencia de compuestos antioxidantes es una consecuencia de un proceso de adaptación al medio (Wink, 2003). Un ejemplo de esa adaptación es que las plantas usan diferentes compuestos antioxidantes como agentes de defensa contra el ataque de insectos, ácaros y diversas enfermedades.

En el cultivo ecológico, el ambiente en el que se desarrollan las plantas es más “estresante” que en los sistemas convencionales o intensivos debido al uso limitado y restringido de pesticidas y abonos y como consecuencia cabe esperar un mayor contenido en antioxidantes (Carbonaro, Mattera, Nicoli, Bergamo y Cappelloni, 2002; Asami, Hong, Barret y Mitchell, 2003; Manach, Scalbert, Morand, Rémésy y Jiménez, 2004; Tarozzi *et al.*, 2006). Por lo contrario, en la agricultura convencional el empleo de pesticidas reduce los niveles de síntesis de estos compuestos por parte de la planta al disponer de un sistema de defensa exógeno, dedicando ese gasto energético en la síntesis de otras sustancias (Lydon y Duke, 1989; Dixon y Paiva, 1995; Tawata *et al.*, 1996).

La producción al aire libre o bajo invernadero también afecta a la composición química del fruto. Abushita *et al.* (2000), Gómez *et al.* (2001) y Takeoka *et al.* (2001) encontraron niveles muy superiores de licopeno en tomates producidos al aire libre frente a los encontrados por Leonardi, Ambrosino, Esposito y Fogliano (2000) en tomates producidos bajo invernadero, de 5,2-23,6 mg/100 g vs 0,1-10,8 mg/100 g, respectivamente.

La temperatura o época de maduración y recolección también tiene su efecto, especialmente en el metabolismo secundario de las plantas. Por ejemplo, la síntesis de licopeno se inicia con temperaturas superiores a 16°C, es óptima a 22-25°C y se inhibe a partir de los 30°C (Leoni, 1999). Además, la acumulación de licopeno se bloquea con unos valores de radiación superior a los 650 W/m<sup>2</sup> afectando, por tanto, al color rojo homogéneo del fruto (Adegoroye y Jolliffe, 1987).

Aunque hasta ahora se ha comentado el efecto de factores externos, no se debe olvidar otro hándicap para un estudio detallado de la composición química de cualquier producto vegetal, como es el momento de la recolección, es decir, el grado de madurez del fruto. En el caso del tomate, uno de los primeros síntomas de la etapa de maduración es el cambio de color (Figura 2). Los antocianos y/o carotenoides sustituyen a la clorofila, empezando a aparecer tonalidades rojizas. Con el inicio de la maduración los cloroplastos empiezan a transformarse en cromoplastos, inicialmente en el tejido placentario gelatinoso que rodea las semillas, y luego, en el pericarpio desde la zona distal hacia el pedúnculo. La

clorofila empieza a degradarse y se sintetizan pigmentos amarillos, fundamentalmente xantofilas y  $\beta$ -caroteno, que están más presentes con la progresiva destrucción de la clorofila. Posteriormente, aunque continúa la síntesis de dichos compuestos, el tomate adquiere una coloración roja debido a la rápida acumulación de licopeno. El  $\beta$ -caroteno contribuye de forma importante al color del fruto en las primeras etapas de la maduración, alcanzando su valor máximo poco antes del total desarrollo del color y junto al  $\alpha$ -caroteno, se encuentra en pequeñas cantidades en el fruto verde - maduro. Otros carotenos no cíclicos como el fitoeno, fitoflueno y  $\gamma$ -caroteno, ausentes en frutos verdes, se acumulan durante la maduración (Fraser, Truesdale, Bird, Schuch y Bramley, 1994; Nuez, 1995).



**Figura 2.** Etapas simplificadas de la maduración del tomate

Pero no sólo el contenido en licopeno y carotenoides se ve afectado por la maduración. El almidón acumulado en las fases primarias es hidrolizado a azúcares más sencillos por acción enzimática (Azcón-Bieto y Talón, 2008), la acidez disminuye y con ello el contenido en ácido ascórbico (Tünk, Seniz, Özdemir y Süzen, 1993).

Según Raffo, Malfa, Fogliano, Madani y Quaglia (2002), la cantidad de vitamina C total no cambia durante la maduración sino que en realidad hay una transformación del ácido ascórbico a dehidroascórbico que se cifra entre 22-54% del total de vitamina C.

En conclusión, se puede decir que un análisis detallado de las causas que afectan a la composición química del tomate es relativamente complicado al implicar diversos factores externos e internos, lo cual obliga al uso de unas herramientas de análisis más potentes de las que habitualmente se manejan.

## II. OBJETIVOS



Como se ha comentado anteriormente, los consumidores pueden estar condicionados por ciertas ideas preconcebidas o estereotipos culturales adquiridos hacia productos ecológicos al asumir que tienen mayor valor nutritivo, mayor valor social, mayor frescura, mayor sabor, mayor madurez y buena apariencia en general (Yiridoe et al., 2005).

Sin embargo, Dumas, Dadomo, Di Luca y Grolier (2003) y Zhao, Carey, Wang y Rajashekar (2006) en sus respectivos trabajos sobre qué factores afectan a la composición química del tomate, ponen de manifiesto que esa percepción positiva hacia la calidad de productos ecológicos no es tan clara porque depende en gran medida de la interacción de factores tales como:

- Genético.
- Medioambientales (incluye las actividades agrarias).
- Prácticas de post-cosecha.

A pesar de la numerosa bibliografía existente, parece que no hay acuerdo sobre qué factores afectan o no a la calidad del tomate. Por tal motivo, este trabajo se ha planteado como objetivo general analizar el sabor del tomate en función de dos aspectos, genéticos y medioambientales, mediante el uso de dos herramientas de análisis estadístico multivariante que permitan identificar las relaciones entre individuos, variables e individuos-variables.

Dentro de los factores genéticos se considerará sólo la variedad, mientras que por factores medioambientales se estudiarán las variables: tipo de producción (convencional o intensiva, ecológica e hidropónica) y la fecha de recolección (octubre, diciembre, febrero y abril). La concatenación de la variedad y el sistema de producción para las distintas ocasiones (fechas de recolección) definen la tipología de la estructura de datos (Figura 3)

En cuanto a las variables a determinar, Hernández, Rodríguez y Díaz (2010), encontraron que el sabor no sólo estaba formado por los azúcares y ácidos orgánicos sino que además estaba implicado sales minerales, por lo que se determinaron los azúcares glucosa y fructosa y los ácidos orgánicos cítrico, málico, oxálico, fumárico, oxálico y ascórbico. Los minerales analizados fueron sodio y magnesio.

El primer análisis que se aplicó fue el HJ-Biplot que facilitaría la interpretación de las relaciones de similitud/disimilitud entre los individuos, la covariación entre las variables pero es especialmente interesante para determinar qué variables determinan las diferencias entre los individuos (Galindo, 1986). Esto es especialmente interesante para el análisis de datos desde el punto de vista agrobiológico, es decir, mientras se produce el proceso de producción agrícola.

La otra herramienta estadística que se empleó fue el STATIS-dual que permite hacer una descripción de las características medias de los tomates. Esta finalidad descriptiva es habitual en bromatología, que es la ciencia que estudia los alimentos, es decir, desde que el producto sale de la producción agraria y el consumidor lo puede adquirir. Con finalidad quimiométrica (análisis estadístico de datos químicos) esta técnica ha sido aplicada anteriormente por Stanimirova et al. (2004) pero en el caso particular de la metodología STATIS.

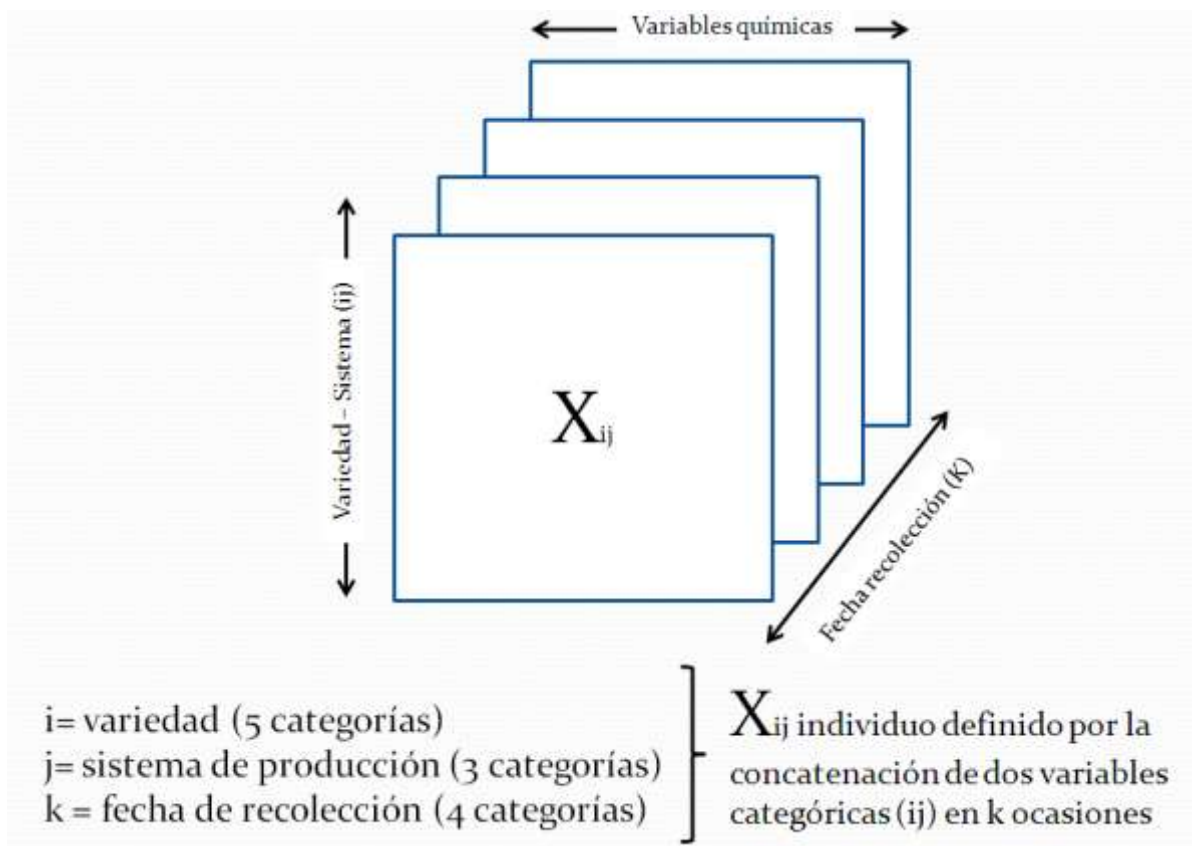


Figura 3. Tipología de matriz de datos

### III. MATERIAL Y MÉTODOS



### III.1 MUESTRAS DE TOMATE

Se seleccionaron las variedades comerciales de tomate de mayor interés en Tenerife (Islas Canarias), las cuales presentan las siguientes características:



**Figura 4.** Variedad de tomate Boludo

Boludo: variedad de tomate de maduración precoz, con frutos de calibre medio, 60-80 mm de diámetro y unos 80-100 g de peso, forma redondeada y aspecto liso, fruto con una gran firmeza y larga conservación en post-cosecha, color rojo intenso y cuello blanco (Figura 4).

Dominique: variedad de tomate de maduración tardía, gran vigor, de peso entre 130 y 180 g, de forma oblonga, buena firmeza y cuello verde (Figura 5).



**Figura 5.** Variedad de tomate Dominique



**Figura 6.** Variedad de tomate Dunkan

Duncan: variedad de tomate de producción temprana, larga vida y cuello blanco. El 70-75% de la producción es del calibre<sup>1</sup> M y es una variedad de larga vida, 7 semanas (Figura 6).

<sup>1</sup> Calibrado en función de la longitud del diámetro ecuatorial. Cada uno de los grupos se identifica por una letra. Los grupos son los siguientes: 35-40 mm (P), 40-47 mm (MMM), 47-57 mm (MM), 57-67 mm (M), 67-82 mm (G), 82-102 mm (GG), 102 mm o más (GGG).



Thomas: se trata de un híbrido de crecimiento óptimo para el cultivo de otoño. Propicio para el cultivo en racimo. Destaca el extraordinario color obtenido en el momento de la cosecha y la firmeza y uniformidad de los frutos del racimo. El racimo se caracteriza por ser de buen calibre, con un peso promedio de 900 a 1000 g. Cada fruto tiene un peso promedio de 180-200 g (Figura 7).

Dorothy: híbrido de tomate tipo canario, con buena conservación y buen color rojo al madurar y sin cuello verde. Su tamaño es muy homogéneo dentro del racimo, por lo que es muy interesante para cosechar en racimo. El tamaño es de calibre medio y peso entre 140-160 g. Su uniformidad, junto con su alta producción y calidad post-cosecha, unidos a su alta tolerancia al virus de la cuchara, la hacen muy interesante para cultivo tanto en malla como al aire libre y en invernadero (Figura 8).



**Figura 7.** Variedad de tomate Thomas



**Figura 8.** Variedad de tomate Dorothy

## III.2 CARACTERÍSTICAS DEL MUESTREO

Se tomaron un total de 167 muestras de tomates de aproximadamente 1 Kg de peso cada una, pertenecientes a las cinco variedades anteriormente descritas, las cuales fueron suministradas por ACETO (Asociación Provincial de Cosecheros Exportadores de Tomates de Tenerife). El punto de recolección de las mismas fueron los puntos de maduración 7 y 8 de la escala Klaur-Stadia Tomaten, al tratarse del estado con los que se comercializa el tomate. Se trata de una escala colorimétrica (Figura 9) basada en el porcentaje del color. Las muestras de tomate procedían de producciones intensivas (convencional en suelo), ecológicas e hidropónicas. En la Tabla 1 se muestra un resumen de las características de las muestras analizadas.

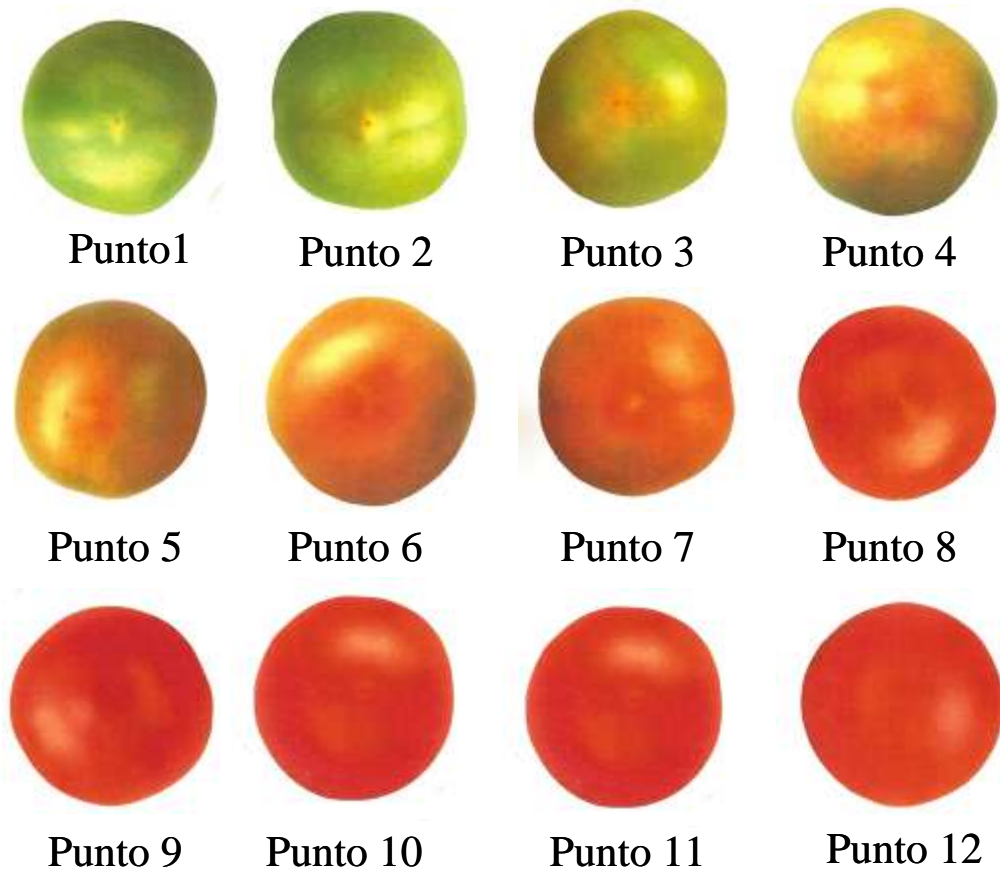
**Tabla 1.** Características del muestreo

Variedad	n	Método de cultivo			Periodo de cosecha			
		Intensivo	Ecológico	Hidropónico	Octubre	Diciembre	Febrero	Abril
Dorothy	50	25	14	11	14	16	12	8
Boludo	46	28	14	4	12	12	11	11
Dominique	19	10	9	0	4	8	5	2
Thomas	25	16	9	0	8	8	4	5
Dunkan	27	4	12	11	2	10	9	6
<b>Total</b>	<b>167</b>	<b>82</b>	<b>58</b>	<b>26</b>	<b>40</b>	<b>54</b>	<b>41</b>	<b>32</b>

Se entiende por agricultura intensiva aquel sistema de producción agrario donde se intensifican los factores de producción: mano de obra, capital y condiciones ambientales. Dentro de este sistema se incluye el cultivo sin suelo o hidropónico en el que se sustituye la función del suelo (medio de fijación de la planta y fuente de agua y nutrientes minerales) por un medio inerte de anclaje y donde se usa una solución nutritiva que sirve de aporte de nutrientes y agua al cultivo.

Como alternativa a este sistema está la agricultura ecológica que se puede definir como un sistema de producción y elaboración de productos agrarios cuyo objetivo es la obtención de alimentos respetando el medio ambiente y sin utilizar productos químicos de

síntesis (abonos, pesticidas, hormonas, antibióticos, etc.) ni organismos modificados genéticamente.



**Figura 9.** Escala Klaur-Stadia Tomaten

### III.3 MÉTODOS ANALÍTICOS

Los parámetros que se determinaron se pueden clasificar en los siguientes grupos:

- Métodos volumétricos con los que se determinó ácido ascórbico.
- Métodos espectrofotométricos con los que se analizaron los minerales Mg y Na.
- Métodos cromatográficos, empleados para la cuantificación de azúcares (glucosa y fructosa) y ácidos orgánicos (oxálico, pirúvico, málico, cítrico y fumárico).

#### III.3.1 Métodos volumétricos

##### Ácido ascórbico

La vitamina C es una vitamina hidrosoluble que engloba dos vitámeros, el ácido ascórbico (AA) y el ácido dehidroascórbico (DHAA), su primer producto de oxidación. El contenido de AA se determinó volumétricamente, siguiendo el método oficial de la AOAC (1990) del 2,6-diclorofenolindofenol (DIP). En la valoración, el AA es oxidado por el DIP a DHAA. En el punto final de la valoración, el exceso de DIP no reducido produce una tonalidad rosada al estar la disolución en medio ácido.

##### Aparatos y materiales:

Agitador - homogeneizador, modelo Ultra-Turrax, T-25 Basic, Ika

Bureta de 10 mL con depósito

Erlenmeyer 100 mL

Kitasatos de 250 mL

Placa calefactora, Ufesa

Placas filtrantes de porosidad nº 2

Vasos de precipitado de 50 mL

##### Reactivos, estándares y disoluciones:

Celite C-8659, Sigma

Disolución de AA, Fluka. Se pesaron 25 mg del patrón de ácido ascórbico de pureza mayor al 99,5%. Se aforó a 25 mL con la disolución de metafosfórico al 3%.

Disolución de ácido metafosfórico 3%, Fluka. Se pesaron 30 g de ácido metafosfórico (33,5-36,5%), se añadieron 80 mL de ácido acético glacial y disolvió en agua destilada, calentado en una placa calefactora. Posteriormente se aforó con agua destilada hasta 1L y se guarda esta disolución en la nevera y en ausencia de luz.

Disolución DIP, Fluka. Se pesaron 125 mg de DIP, se añadieron 105 mg de bicarbonato sódico y se disolvió en agua destilada. Se aforó a 500 mL con agua destilada. Se filtra la disolución, se almacena en nevera y en ausencia de luz.

Procedimiento:

a) Valoración del DIP:

Se tomó 1 mL de la disolución estándar de AA y se introdujo en un erlenmeyer que contenía 25 mL de la disolución de ácido metafosfórico al 3%. El DIP se valoró frente a este patrón hasta la aparición de un color rosa estable al menos durante 10 s. Se calcularon los mg de AA equivalentes a 1 mL de DIP, obteniéndose así un factor (F) cuyas unidades fueron mg AA/mL de DIP.

$$F = \frac{g \text{ AA}}{25 \cdot mL \text{ DIP}} \times 1000$$

b) Determinación del contenido de ácido ascórbico:

Se introdujo una porción de tomate de peso aproximado de 3 g directamente en un vaso de precipitado que contenía 10 mL de la disolución de ácido metafosfórico 3%. Luego, se homogenizó la muestra en un agitador-homogenizador, lavando el vástago de éste con la disolución de metafosfórico (3%).

A continuación, se filtró a través de una placa filtrante de porosidad nº2, que contenía un lecho de celite para impedir que se taponaran los poros. Con objeto de evitar pérdidas, se lavaron los vasos con otros 5 mL de la disolución de ácido metafosfórico (3%). Después de filtrar se procedió a valorar el contenido de ácido ascórbico con DIP. La aparición del color rosa, visible al menos durante un mínimo de 10 s, indica el punto final de la valoración. El contenido de AA (mg/100 g) de la muestra se calculó mediante la expresión:

$$AA \text{ (mg/100 g)} = \frac{(V - V_0) \cdot F}{P} \cdot 100$$

Donde:

$V_0$  = Volumen gastado en la valoración del blanco (mL)

$V$  = Volumen de DIP gastado en la valoración (mL)

$F$  = Factor procedente de la valoración del DIP con el AA patrón

$P$  = Peso de la muestra (g)

### **III.3.2 Métodos espectrofotométricos**

#### **Minerales**

Para la determinación de minerales se empleó la Espectrofotometría de Absorción Atómica (EAA). En la EEA, los átomos introducidos en una llama captan energía modificando la distribución electrónica de su capa externa. La radiación absorbida es específica del elemento del elemento químico y función de su concentración (Adrian, Potus, Poiffait y Dauvillier, 2000).

#### Aparatos y materiales:

Balanza analítica de precisión (0,0001 g), BP 210S, Sartorius

Celda de cuarzo de 1 cm de camino óptico

Digestor DK20/26, con capacidad para 20 tubos de 100 mL. VELP Scientifica

Espectrofotómetro de absorción atómica Varian SpectrAA-10Plus, equipado con un generador de hidruros automatizado

Lámparas de cátodo hueco de los elementos: Na y Mg, Varian

Molinillo de café, MC0360, Ufesa

Pipeta de precisión 2-20  $\mu$ L, 20-200  $\mu$ L y 100-1000  $\mu$ L, Socorex

Placa calefactora, Ufesa

Sistema de obtención de agua ultrapura Milli-Q, OM-140, Millipore

Tubos de digestión de 100 mL

Vasos de precipitado de 25 mL

#### Reactivos, estándares y disoluciones:

Ácido clorhídrico 37% calidad Hiperpure, Panreac

Ácido nítrico 65% calidad Hiperpure, Panreac

Disolución estándar de P (1027  $\mu$ g/mL), Aldrich

Disolución  $\text{LaCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  (133,7 g/L), Riedel-de Hæn

Disolución LiCl (122,2 g/L), Panreac

Disoluciones estándar de Na y Mg (1 g/L), Panreac

Material de referencia: harina de trigo (ARC/CL3, LGC Deshelares)

Procedimiento:

Se pesó 1 g de muestra de tomate previamente secada y homogenizada dentro de un tubo de cristal de digestión sobre el cual se añadió 6 mL de ácido HNO<sub>3</sub> concentrado, dejándose en contacto con la muestra durante 24 h. Transcurrido este tiempo se inició el proceso de digestión empleando un digestor con la siguiente secuencia de temperatura: 100°C/15 min, 115°C/15 min, 130°C/15 min y 160°C/120 min. Posteriormente se enfriaron los tubos hasta temperatura ambiente y se añadió 1 mL de HCl calentando a 160°C durante 5 min. Tras enfriarse nuevamente, el contenido de cada tubo fue transferido cuantitativamente y aforado a 10 mL con agua ultrapura Milli-Q en tubos de polietileno. Para la determinación de Na y K, se tomó de esta disolución una alícuota de 1 mL, se mezcló con 1 mL de LiCl y se aforó a 10 mL con agua ultrapura Milli-Q. Otro volumen de 1 mL se mezcló con 2 mL de LaCl<sub>3</sub>·7H<sub>2</sub>O aforándolo a 10 mL con agua ultrapura Milli-Q para la determinación de Ca y Mg.

En la Tabla 2 se muestran los parámetros instrumentales utilizadas para la determinación de los minerales y elementos traza.

**Tabla 2.** Parámetros instrumentales para la determinación de minerales

Elemento	Método	$\lambda$ (nm)	Rendija (nm)	Llama
Na	Absorción	330,2	0,5	Aire/C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>
Mg	Absorción	285,2	0,5	Aire/C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>



### III.3.3 Métodos cromatográficos

La cromatografía es una técnica que permite separar una mezcla de solutos en función de la velocidad de desplazamiento diferencial de los mismos, que se establece al ser arrastrados por una fase móvil a través de un lecho cromatográfico que contiene la fase estacionaria.

La cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) es una técnica cromatográfica en la que la fase móvil es un líquido, la fase estacionaria un sólido y la muestra problema puede ser un líquido o un sólido disuelto en un disolvente (Nielsen, 2003).

#### Azúcares

Los azúcares solubles en etanol fueron analizados por HPLC previa extracción de los mismos con una disolución de etanol 80%.

##### Aparatos y materiales:

Balanza analítica de precisión (0,0001 g), BP 210S, Sartorius

Baño de ultrasonidos, Mod. UCI-150, Raypa.

Batidora, modelo Osterizer Blender Classic, Oster

Bomba de vacío, Millipore

Botella de N<sub>2</sub>, Carburo Metálico SA

Centrífuga Modelo 2650, Nahita

Columna de separación cromatográfica Carbohydrate Analysis (3,9x300 mm de diámetro interno, 10 µm de diámetro de partícula), Waters

Concentrador de muestras con plataforma térmica acoplada a corriente de nitrógeno gas, Dri-Block DB-3D, Techne

Cromatógrafo líquido de alta eficacia (HPLC) Waters equipado con una bomba (600E Multisolvant Delivery System), con un autoinyector 700 Wisp Model y un detector diferencial de índice de refracción (Waters 2414). Todo el sistema está controlado y monitorizado con el programa Millenium<sup>32</sup>

Filtros Acrodisc GHP 0,45 µm (25 mm), Waters

Filtros de membrana Durapore<sup>R</sup> de 0,45 µm (47 mm), Millipore

Ordenador Pentium III, 800 mHz, que tiene instalado el programa Millenium<sup>32</sup>, versión 3.2.

Pipeta de precisión 2-20  $\mu\text{L}$ , 20-200  $\mu\text{L}$  y 100-1000  $\mu\text{L}$ , Socorex

Precolumna Carbohydrate Carbo TM 4 $\mu\text{m}$ , Waters

Sistema de filtración de disolventes a vacío (filtros 0,45  $\mu\text{m}$ ), Millipore

Sistema de obtención de agua ultrapura Milli-Q, OM-140, Millipore

Tubos de plástico de polietileno de 10 mL

Viales (12x32 mm) con tapa de silicona y septum de teflón, Waters

#### Reactivos, estándares y disoluciones:

Acetonitrilo al 80% grado HPLC, Merck

Estándares de glucosa y fructosa, Fluka

Etanol al 80%, Scharlau

#### Procedimiento:

Se realizó una extracción previa de los azúcares presentes en la muestra con etanol 80%. Para ello, se pesó 1 g del homogeneizado de tomate en tubos de polietileno, se añadió 2 mL de etanol 80% y se mantuvo durante 5 min en un baño de ultrasonidos. Luego se centrifugó a 3500 rpm durante 5 min. Seguidamente se recogió el sobrenadante y se repitió la operación descrita anteriormente con el residuo para completar la extracción. Los 4 mL resultantes de ambas extracciones se mezclaron y evaporaron en un concentrador de muestras para eliminar el etanol, quedando los azúcares disueltos en la fase acuosa restante. Este residuo se introdujo cuantitativamente en un tubo de polietileno y se diluyó con agua ultrapura Milli-Q hasta 5 mL. De esta solución se tomó 1 mL y se filtró a través de un filtro de 0,45  $\mu\text{m}$  (GHP) previo a la inyección en HPLC.

La fase móvil estaba compuesta por acetonitrilo 80%. Se trabajó a un régimen isocrático a un flujo de 2 mL/min a temperatura ambiente. La cuantificación se realizó elaborando una curva de calibrado con los estándares de azúcares utilizando las áreas de pico correspondientes.

### **Ácidos orgánicos**

Los ácidos orgánicos fueron analizados por HPLC previa extracción con una disolución de etanol al 80%.

#### Aparatos y materiales:

Balanza analítica de precisión (0,0001 g), BP 210S, Sartorius

Baño de ultrasonidos, Modelo UCI-150, Raypa

Batidora, modelo Osterizer Blender Classic, Oster

Bomba de vacío, Millipore

Botella de N<sub>2</sub>, Carbuco Metálico SA

Cartucho Sep-pak QMA Accell Plus, Waters

Centrífuga Modelo 2650, Nahita

Columna de separación cromatográfica Atlantis (150x4,6 mm de diámetro interno, 3 µm de diámetro de partícula), Waters

Concentrador de muestras con plataforma térmica acoplada a corriente de nitrógeno gas, Dri-Block DB-3D, Techne

Cromatógrafo líquido de alta eficacia Waters con un módulo de separación 2690 que incluye inyector automático, desgasificador y bomba binaria, y un detector diodo-array 996. Este módulo de separación es una plataforma integrada para la manipulación de disolventes y muestras. Cuenta con 4 entradas para fases móviles, sistema de manipulación de muestras con capacidad para 120 viales y bandeja para botellas de disolvente. Todo el sistema está controlado y monitorizado con el programa Millenium<sup>32</sup>

Filtros Acrodisc GHP 0,45 µm (25 mm), Waters

Filtros de membrana Durapore<sup>R</sup> de 0,45 µm (47 mm), Millipore

Ordenador Pentium III, 800 mHz, que tiene instalado el programa Millenium<sup>32</sup>, versión 3.20

pH-metro digital, Inolabol, WTW

Pipetas de precisión 2-20 µL, 20-200 µL y 100-1000 µL, Socorex

Precolumna, equipada con cartuchos Atlantis dC18 (3 µm), con igual fase estacionaria que la columna de separación, Waters

Sistema de filtración de disolventes a vacío (filtros 0,45  $\mu\text{m}$ ), Millipore

Sistema de obtención de agua ultrapura Milli-Q, OM-140, Millipore

Tubos de plástico de polietileno de 10 mL

Viales (12x32 mm) con tapa de silicona y septum de teflón, Waters

#### Reactivos, estándares y disoluciones:

Ácido ortofosfórico 85%, Merck

Dihidrógeno fosfato sódico ( $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ ) 20 mM a pH 1 y pH 2,7, Merck

Estándares de ácidos orgánicos:

Ácido cítrico, Aldrich

Ácido fumárico y piruvato sódico, Sigma

Ácido málico y ácido oxálico, Fluka

Etol 80%, Scharlau

Metanol grado HPLC, Merck

#### Procedimiento:

El procedimiento descrito para la determinación de los azúcares fue el aplicado para extraer los ácidos orgánicos. De la solución final de trabajo se tomó 1 mL y se filtró a través de un filtro de 0,45  $\mu\text{m}$  (GHP) acoplado a un cartucho QMA (Sep-Pak Accell Plus). Los ácidos retenidos en el cartucho se eluyeron con 2 mL de una disolución de  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$  de pH 1. De este eluido se inyectaron 10  $\mu\text{L}$  en el cromatógrafo.

La fase móvil estaba compuesta por  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$  20 mM a pH 2,7 (ajustado con ácido ortofosfórico 85%). Se trabajó en régimen isocrático y con un flujo de 0,7 mL/min.

Los picos se identificaron comparando tanto sus tiempos de retención como sus espectros con los correspondientes a los patrones de cada ácido orgánico. La cuantificación se realizó previa elaboración de las curvas de calibrado de cada ácido.

## III.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El análisis estadístico de grandes matrices de datos, constituidas por individuos u observaciones en las filas y las variables en las columnas, se pueden realizar utilizando técnicas de análisis multivariante, las cuales se basan en la reducción de la dimensionalidad del problema a través de la proyección de los datos originales sobre un subespacio de ajuste óptimo, de tal forma que conserven los patrones fundamentales respecto a la variación conjunta de los individuos y las variables. Las diferencias principales entre las distintas técnicas dependen de las matrices y tipo de variables que utilizan y las formas de sus representaciones (Cárdenas, Galindo y Vicente-Villardón, 2007).

En esta memoria se presentan los resultados de dos tipos de análisis elegidos en función de la naturaleza de la matriz. Como se ha expuesto anteriormente, los datos tienen una estructura cúbica (Figura 3), es decir, presentan una tercera vía la cual será considerada mediante el análisis STATIS-dual. El otro método que se empleó fue el HJ-Biplot lo cual va a requerir la transformación de esta estructura de tabla múltiple a una tabla de dos vías para su aproximación Biplot a través de la descomposición en valores singulares, mediante un proceso de concatenación de las propiedades de los individuos.

### III.4.1 HJ-Biplot

Antes de definir las características del HJ-Biplot es conveniente presentar inicialmente qué son las representaciones Biplot. Gabriel (1971) define un Biplot como una representación gráfica de datos multivariantes. De la misma manera que un diagrama de dispersión muestra la distribución conjunta de dos variables, un Biplot represente 3 o más variables (Gabriel y Odoroff, 1990). Esto es posible porque las variables no forman ejes perpendiculares sino vectores definidos por las siguientes características (Vicente-Villardón, 2010):

- El ángulo entre vectores, en la dirección de crecimiento, se interpreta en términos de correlación lineal, concretamente, el coseno del ángulo que forman dos vectores es la correlación entre las variables. Valores de coseno próximos a cero indica que las variables son independientes ya que el ángulo que forman es cercano a la unidad.
- La representación mediante ejes perpendiculares sólo es posible en tres dimensiones mientras que con la utilización de vectores permite obtener representaciones aproximadas.

Sea  $\mathbf{X}_{n \times p}$  la matriz de datos que se desea representar. Las  $n$  filas corresponden, generalmente, a  $n$  individuos y las  $p$  columnas a  $p$  variables medidas sobre los mismos. Un Biplot para este tipo de matriz de datos es una representación gráfica mediante marcadores (vectores)  $g_1, g_2, \dots, g_n$  para las filas de  $\mathbf{X}$  y  $h_1, h_2, \dots, h_p$  para las columnas de  $\mathbf{X}$ , de forma que el producto interno  $g_i^T h_j$  aproxime al elemento  $x_{ij}$  de la matriz de partida tan bien como sea posible. Si se consideran los marcadores  $g_1, g_2, \dots, g_n$  como filas de una matriz  $\mathbf{G}$  y los marcadores  $h_1, h_2, \dots, h_p$  como filas de una matriz  $\mathbf{H}$ , entonces se puede escribir:

$$\mathbf{X} \cong \mathbf{G}\mathbf{H}^T$$

decir, la factorización de la matriz inicial es equivalente al producto interno  $x_{ij} = g_i^T h_j$ .

Estos marcadores permitirían la representación conjunta, representación Biplot, de la matriz de datos iniciales. Sin embargo, el inconveniente que existe es que la factorización no es única por lo que para obtener un Biplot útil es necesario imponer una métrica en el espacio de las filas y/o columna de forma que la descomposición y el Biplot resultante sean únicos (Gabriel, 1971).

Además, hay que considerar la posibilidad de aproximar la matriz de datos  $\mathbf{X}$  de rango  $r$ , con  $r > 2$ , a otra matriz de rango 2 con una aproximación satisfactoria que permita la representación Biplot. Uno de los métodos que permite aproximar a una matriz de bajo rango es el propuesto por Eckart y Young (1936) que proponen una descomposición en valores singulares:

$$\mathbf{X} = \mathbf{U} \Sigma \mathbf{V}^T$$

donde  $\mathbf{U}$  es la matriz cuyas columnas son ortonormales y vectores propios de  $\mathbf{X}\mathbf{X}^T$ ,  $\Sigma$  es la matriz diagonal de valores singulares de  $\mathbf{X}$  y  $\mathbf{V}$  es una matriz ortogonal cuyas columnas son vectores de  $\mathbf{X}^T\mathbf{X}$ . La elección de los marcadores de filas y columnas a partir de la aproximación a bajo rango obtenida, puede hacerse de múltiples maneras teniendo, por tanto, propiedades distintas (Figura 10).

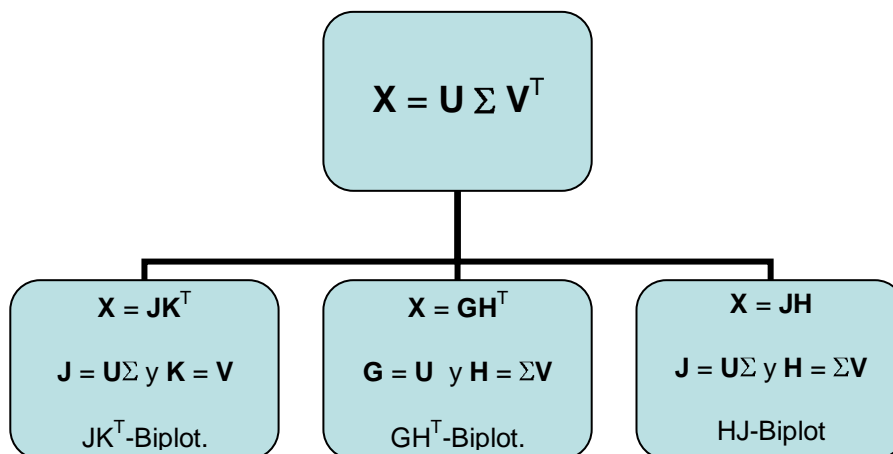


Figura 10. Tipos de representaciones Biplot

Según el objetivo del análisis de los datos a realizar, varios autores (Gabriel, 1971; Galindo, 1986) proponen distintas elecciones y estudian sus propiedades de acuerdo con la factorización elegida, si bien la interpretación del Biplot en base a los productos escalares se mantiene sea cual sea la factorización. Por ejemplo:

- Si se desea obtener una buena representación de los individuos (filas de  $X$ ) la factorización propuesta sería del tipo  $X = JK^T$  con  $J = U\Sigma$  y  $K = V$ . Esta representación se denomina JK<sup>T</sup>-Biplot. Entre sus propiedades se tiene:
  - Los productos escalares, con la métrica identidad, de las filas de la matriz  $X$  coinciden, en el espacio completo, con los productos escalares de los marcadores contenidos en  $J$ , es decir, la distancia euclídea entre dos filas (individuos) de la matriz original coincide con la distancia euclídea de los marcadores  $J$ .
  - Los marcadores para las filas coinciden con las coordenadas de los individuos en el espacio de los componentes principales.
  - Las coordenadas para las columnas son las proyecciones de los ejes originales en el espacio de los componentes principales.
  - La similitud entre columnas se aproxima utilizando como métrica la inversa de la matriz de dispersión entre los individuos.
  - La calidad de representación es mejor para las filas que para las columnas.

- Si por lo contrario lo que se desea es una buena representación de las variables (columnas de  $\mathbf{X}$ ) la factorización propuesta por sería del tipo  $\mathbf{X} = \mathbf{GH}^T$  con  $\mathbf{G} = \mathbf{U}$  y  $\mathbf{H} = \Sigma\mathbf{V}$ . Esta representación se denomina  $\mathbf{GH}^T$ -Biplot. Sus propiedades son:
  - Los productos escalares de la columna de la matriz  $\mathbf{X}$  coincide con los productos escalares de los marcadores  $\mathbf{H}$ . Esto implica que la longitud al cuadrado de los vectores  $h_j$  aproxima a la varianza de la variable y por tanto la longitud aproxima a la desviación típica. El coseno del ángulo que forman los marcadores aproxima a la correlación entre las variables.
  - La distancia de Mahalanobis entre las filas de  $\mathbf{X}$  coincide con la distancia euclídea entre dos marcadores fila.
  - Proporciona una mejor aproximación para las varianzas/covarianzas que para el producto escalar en la métrica de Mahalanobis.
  
- Si lo que se desea es una representación simultánea de individuos y variables de  $\mathbf{X}$ , la factorización propuesta es del tipo  $\mathbf{X} = \mathbf{JH}$  con  $\mathbf{J} = \mathbf{U}\Sigma$  y  $\mathbf{H} = \Sigma\mathbf{V}$ . Esta representación se denomina  $\mathbf{HJ}$ -Biplot. Sus propiedades son las de los marcadores  $\mathbf{J}$  y  $\mathbf{H}$  detalladas anteriormente, pero además:
  - Los marcadores fila y columna se pueden representar en el mismo sistema de referencia. Las coordenadas de las filas son medias ponderadas de las coordenadas de las columnas, donde las ponderaciones son los valores originales de la matriz  $\mathbf{X}$ . Lo mismo ocurre con las coordenadas de las columnas respecto de las de las filas.
  - Las calidades de representación de filas y columnas son las mismas (Tabla 3)



**Tabla 3.** Calidades de representación de los Biplot

REPRESENTACIÓN	COORDENADAS FILA	COORDENADAS COLUMNAS	BONDAD DE AJUSTE PARA FILAS	BONDAD DE AJUSTE PARA COLUMNAS
GH <sup>T</sup> -Biplot	U	ΣV	2/r	$\frac{\lambda_1^2 + \lambda_2^2}{\sum_{i=1}^r \lambda_r}$
JK <sup>T</sup> -Biplot	UΣ	V	$\frac{\lambda_1^2 + \lambda_2^2}{\sum_{i=1}^r \lambda_r}$	2/r
HJ-Biplot	UΣ	ΣV	$\frac{\lambda_1^2 + \lambda_2^2}{\sum_{i=1}^r \lambda_r}$	$\frac{\lambda_1^2 + \lambda_2^2}{\sum_{i=1}^r \lambda_r}$

r: rango de la matriz **X**; λ: autovalores  
Fuente: Galindo, 1986.

Es por este conjunto de propiedades que se decidió aplicar el HJ-Biplot, además de tener una matriz de datos donde las filas y las columnas son importantes en sí mismas, y se deseaba interpretar las características de ambas manteniendo cierta relación entre las mismas.

Como se comentó anteriormente, un HJ-Biplot para una matriz de datos **X** es una representación gráfica multivariante mediante marcadores (vectores)  $j_1, j_2, \dots, j_n$  para las filas de **X** y  $h_1, h_2, \dots, h_p$  para las columnas de **X**, elegidos de forma que ambos marcadores puedan superponerse en el mismo sistema de referencia con máxima calidad de representación (Galindo, 1986).

Esto es posible porque se ha introducido en el espacio de las filas la métrica asociada a la inversa de la matriz de covarianzas de las variables y en el espacio de las columnas la métrica asociada a la inversa de la matriz de dispersión de los individuos (filas y columnas se suponen centradas). Esto permite representar las coordenadas de las filas y de las columnas con referencia a unos mismos ejes cartesianos, es decir, el espacio de representación de las filas y de las columnas puede ser superpuesto para obtener una representación conjunta, ya que los autovalores para los análisis de las dos nubes permite identificar los ejes factoriales correspondientes al mismo valor propio y representar sobre el mismo gráfico ambas nubes (Galindo, 1986).

El HJ-Biplot presenta la desventaja que no permite reproducir los datos originales, sin embargo es muy utilizado dada sus buenas propiedades: altas calidades de representación de filas y columnas, posibilidad de interpretar las posiciones de las filas y las columnas y las relaciones fila-columna (Galindo, 1986; Cárdenas et al., 2007).

Existen varias diferencias entre una representación factorial y la representación de un HJ-Biplot. Los métodos factoriales gráficos presentan los resultados en forma de diagrama de dispersión, generalmente en un subespacio de dimensión 2, aunque la configuración inicial sea de dimensión mayor. Al proyectar se produce una pérdida de información que puede distorsionar las configuraciones iniciales. En la representación HJ-Biplot la búsqueda de las variables que determinan las diferencias entre los individuos se realiza a través de los ejes factoriales, es decir, se interpretan las nuevas variables, combinación lineal de las de partida, y las relaciones de las mismas con las de partida (Vicente-Villardón, 2010).

Además, la forma de interpretación de la representación también varía. En una representación Biplot, la distancia entre individuos informa de la disimilaridad entre los mismos. La longitud de los vectores que representan a las variables indican su variabilidad y los ángulos que forman dos vectores ponen de manifiesto su grado de correlación.

La relación individuos-variables se estudia a través de las proyecciones de los puntos que representan los individuos sobre los vectores que representan las variables. Esto permite determinar cuáles son las variables que más diferencian los subconjuntos de individuos, es decir, si una variable toma un valor preponderante para un individuo, el punto que representa a esa variable estará próximo al punto que representa a ese individuo (Galindo, 1986; Vicente-Villardón, 2010).

El HJ-Biplot fue realizado con el programa MULTBILOT (MULTivariate Analysis using Biplot) desarrollado por D. José Luis Vicente Villardón, profesor del Departamento de Estadística de la Universidad de Salamanca, el cual permite desarrollar múltiples técnicas estadísticas multivariantes que requieran una representación gráfica de los resultados. Este programa se diferencia de otros programas Biplot por incluir herramientas como el HJ-Biplot y permitir una manipulación de las gráficas para recoger un mayor volumen de información.

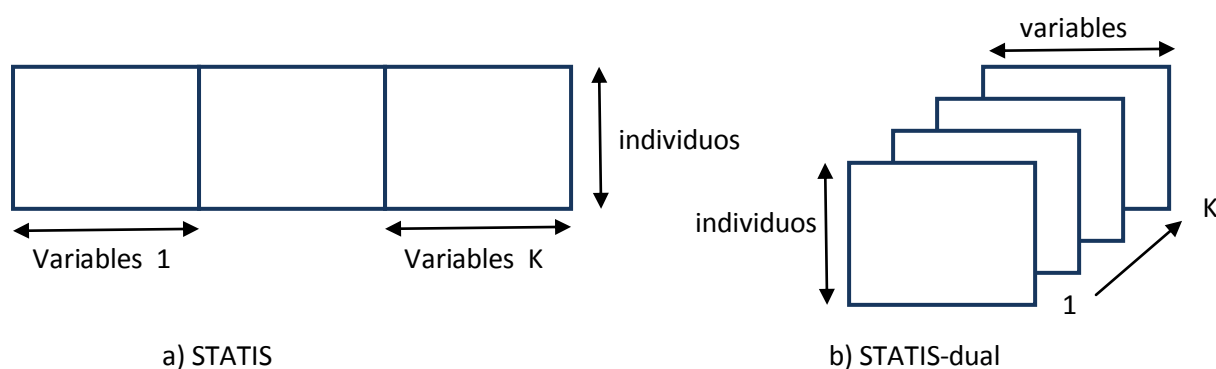
Para ejecutar el HJ-Biplot, los datos fueron centrados por columnas (por variables) y la aproximación a una matriz de rango inferior se hizo mediante la descomposición en valores singulares. Los resultados obtenidos se muestran en el apartado Resultados y discusión.

### III.4.2 STATIS-dual

El STATIS (Structuration des Tableaux a Trois Indices de la Statistique) es un método para el estudio simultáneo de  $k$  tablas de datos  $Z_1, Z_2, \dots, Z_k$  basado en una generalización del análisis de componentes principales (L'Hermier, 1976). Este método permite estudiar simultáneamente distintos grupos de datos cuantitativos mediante la estructura común que puede presentar los diferentes estudios. Se pueden producir dos situaciones distintas de análisis (García y Simón, 2002):

- Estar en presencia de  $K$  grupos distintos de variables medidas para un mismo conjunto de individuos (Figura 10a).
- Poseer un mismo grupo de variables medidas para  $K$  conjunto de individuos iguales o distintos (Figura 10b).

Al análisis conjunto de las tablas de datos obtenidas en la primera situación se le denomina STATIS y prioriza el comportamiento de los individuos. Al análisis conjunto de las tablas obtenidas en la segunda situación se le denomina STATIS-dual y prioriza el estudio de las relaciones entre las variables (L'Hermier, 1976; Lavit, 1988; Dazy y Le Barzic, 1996). En este trabajo se aplicará el método STATIS-dual para analizar la estructura cúbica de los datos debido a que las variables (datos en las columnas) son constantes en todas las observaciones y los individuos varían entre una situación y otra.



**Figura 11.** Tipos de métodos STATIS

Para entender la metodología del STATIS-dual considérese un cubo de datos (Figura 10b), es decir, K-tablas de datos medidas en diferentes ocasiones colocadas unas detrás de otras, donde las variables estudiadas son constantes en todos los casos y los individuos pueden ser los mismo o no en cada situación.

El primer paso del análisis es buscar la información o estructura común presente en los distintos casos (interestructura). Para ello, no se trabajará con las tablas de datos iniciales, sino que si se asume que los datos están normalizados, usará la matriz de covariación/correlaciones entre las variables  $V_k$  mediante el producto de las matrices originales. Se genera de esta manera una nueva estructura cúbica de datos (Figura 11):

$$V_K = X_k^T X_k$$

El siguiente paso es reducir ese cubo de datos a una sola matriz que recoja las similitudes entre los k estudios. Para lograr esto se define un coeficiente de correlación entre pares de observaciones o matrices a partir del producto interno de Hilber-Schmidt (HS), obteniéndose una matriz simétrica de correlaciones vectoriales entre las k-tablas (García y Simón, 2002):

$$\langle C_t | C_{t'} \rangle_{HS} = tr (C_t C_{t'})$$

Este producto interno define además una norma y una distancia que permiten la representación en un espacio de baja dimensión de las K-tablas transformadas en K-puntos, y de esta forma poder visualizar la interestructura en el sentido de que la proximidad de dos puntos en un plano factorial se traduce en la existencia de una estructura común de las variables (L'Hermier, 1976; Lavit, 1988; Dazy y Le Barzic, 1996).

La razón de equivalencia definida por el producto interno HS, si se asume que las variables están normalizadas, es una distancia euclídea entre los objetos o tablas por lo que la distancia entre puntos puede definirse como el grado de similitud entre observaciones (Castillo y González, 1998).

El siguiente paso es la obtención de una matriz compromiso representativa de los K estudios y cuyo papel es definir un escenario para la representación de las trayectorias o variaciones de cada variable en los diferentes estudios. Se trata de una matriz de medias, particularmente de medias ponderadas donde el coeficiente de ponderación coincide con los coeficientes de correlación vectorial ( $\alpha_K$ ) obtenidos tras el análisis de componentes principales de la matriz de correlaciones vectoriales, y que además constituyen el primer vector propio (Castillo y Gonzalez, 1998; Stanimirova et al., 2004).

$$\mathbf{V} = \sum \alpha_K \mathbf{V}_K$$

El último paso, denominado análisis de la intraestructura o trayectorias, tiene por objeto describir a las variables según su comportamiento en cada uno de los estudios. Esto se consigue proyectando en el mismo subespacio factorial de las variables compromiso. Esto permite estudiar el comportamiento de las variables en cada periodo de observación o etapa y evaluar su evolución (trayectoria) con respecto a su valor medio, completándose esta información con el mapa de los individuos en cada situación de estudio (Castillo y González, 1998).

El programa que se utilizó para realizar el análisis fue el ADE-4, que es un programa de acceso libre que está constituido por distintos módulos que permiten realizar análisis multivariante así como el diseño de gráficas derivados de los mismos. Para la ejecución de este programa se tienen que crear archivos de texto independientes que contengan los datos correspondientes a la identificación de las filas, de las columnas, la dimensión de las matrices (indicación del número de filas) y los valores medios, con la particularidad que la anotación de la parte decimal se debe hacer mediante puntos y los archivos de texto de los valores medios y las dimensiones se han de transformar a datos binarios, opción que permite el propio programa. Antes de realizar el STATIS-dual el archivo de los valores medios fue estandarizado por columnas.

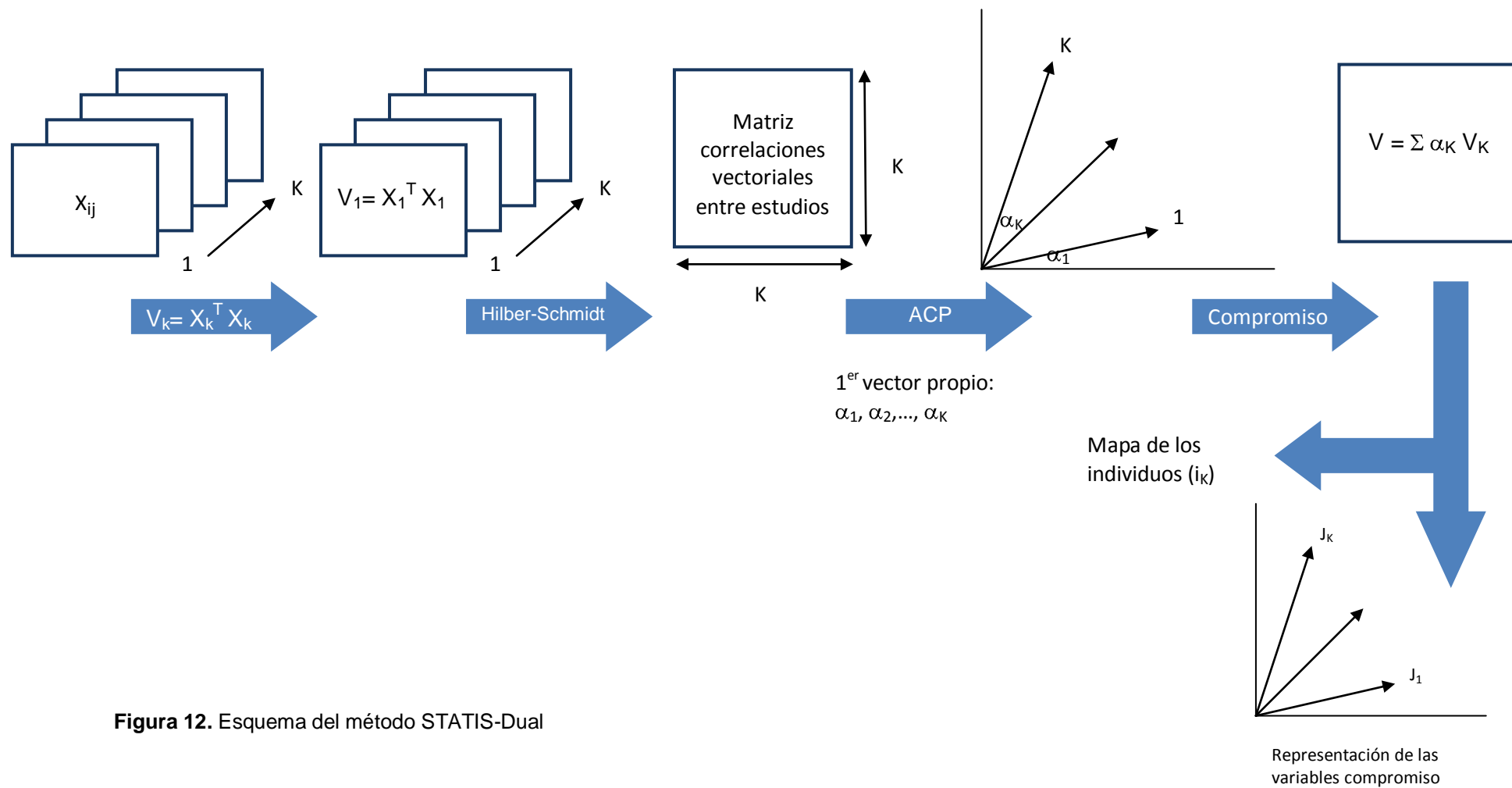


Figura 12. Esquema del método STATIS-Dual

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN



A continuación se presentan los resultados y discusión de los mismos según dos puntos de vista, el agrobiológico y el bromatológico. El enfoque agrobiológico permite un análisis de precosecha, es decir, durante el periodo de producción permitiendo así un análisis de la relación de la influencia de las variables de producción sobre el sabor del tomate, mientras que el bromatológico es de postcosecha, reflejando los valores medios obtenidos en cada situación. Se presentarán en el Anexo VII.1 las tablas con los valores medios de las muestras analizadas para cada fecha considerada.

## IV.1 DISCUSIÓN AGROBIOLÓGICA

La calidad gustativa depende del ratio azúcar/ácidos, el cual generalmente se incrementa durante el verano y disminuye durante el invierno debido a que durante el verano hay una mayor síntesis de azúcares por haber mayor tasa fotosintética y disminuye el contenido de acidez, contrariamente a lo que sucede en invierno. No obstante, poco es sabido sobre el efecto ambiental en la regulación metabólica responsable de la variación en la calidad nutricional de un cultivo (Giovannucci, 1999).

En este trabajo, se usó el HJ-Biplot para poder analizar dicho efecto ambiental, además de la actividad humana y las características genéticas, en el sabor del tomate. Los factores ambientales se agruparon en 4 variables categóricas correspondientes a los meses de maduración/recolección de octubre, diciembre, febrero y abril, caracterizado cada uno por los valores medios de temperatura, radiación y humedad recogidos en la Tabla 4.

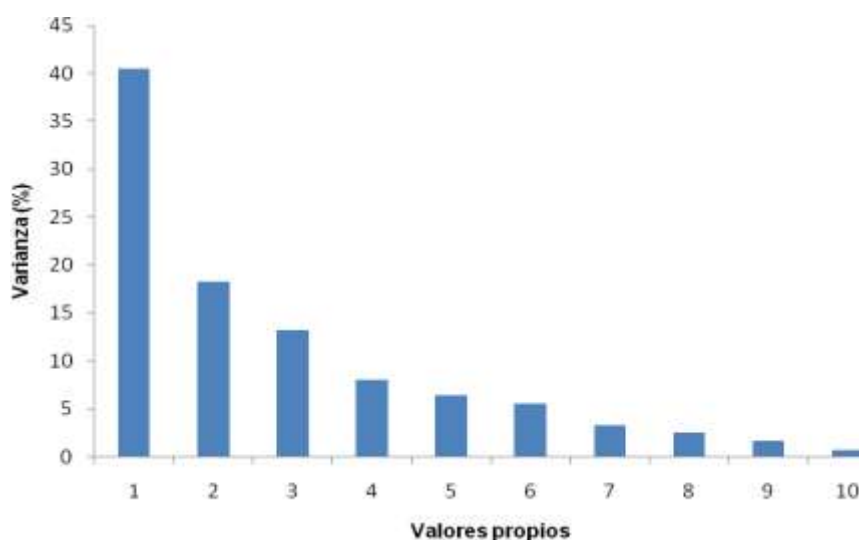
**Tabla 4.** Características climáticas de los meses de recolección

PERIODO	HUMEDAD (%)	TEMPERATURA (°C)	RADIACIÓN (w/m <sup>2</sup> )
Octubre	70,0±7,4	22,9±1,2	16,9±3,8
Diciembre	61,0±6,8	17,7±0,8	12,2±3,4
Febrero	61,5±11,0	15,8±1,1	14,2±4,7
Abril	65,8±5,7	18,5±0,6	21,7±4,5

Resaltar en este punto que los resultados, aunque aparezcan asociados a un mes determinado, se deben interpretar asociados a unas características climáticas concretas, que en un año pueden darse en un mes y al siguiente en otro.



El primer paso fue determinar el número de dimensiones necesarias que mejor representan o explican la matriz de datos. Aunque existen varios criterios, en este trabajo se optó por usar el menor número de dimensiones que permitan una interpretación biológica correcta. Aunque se realizó un Scree plot que justificaba la elección de 3 dimensiones que explicaban el 71% de la varianza (Figura 13), se observó que con tan sólo los dos primeros valores propios era posible encontrar una representación adecuada de las variables, a pesar de explicar tan sólo el 58,74% de la varianza, como se muestra en la Figura 14.

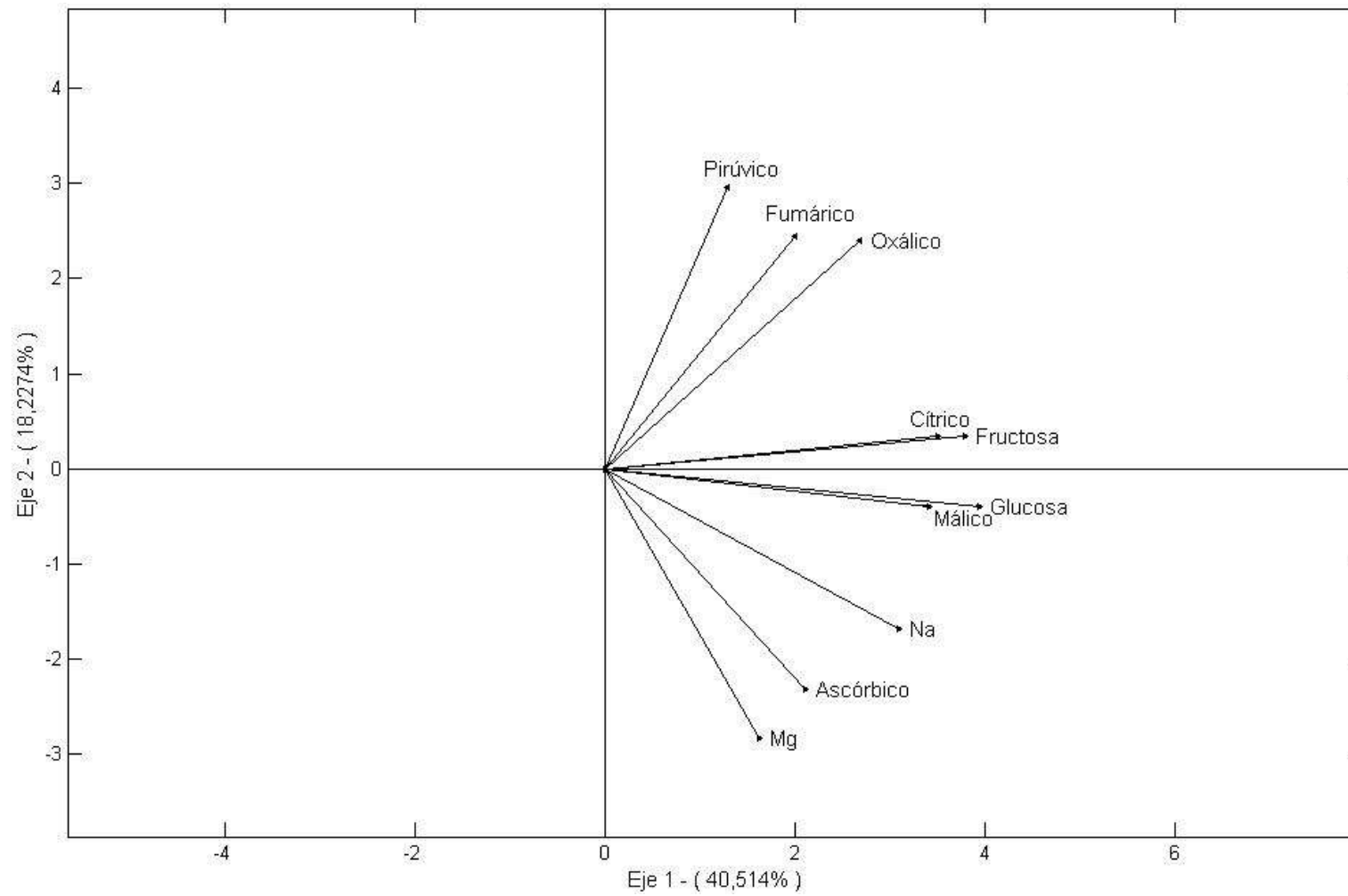


**Figura 13.** Scree plot obtenido con el HJ-Biplot

Para la construcción de la Figura 14 se tuvo en cuenta la calidad de representación de las variables y aunque en el caso de los ácidos ascórbico y fumáricos fueron relativamente inferior en comparación al de los otros compuestos (Tabla 5), los mismos se mantuvieron por su interés biológico y porque facilitarían la interpretación de los ejes.

**Tabla 5.** Calidad de representación

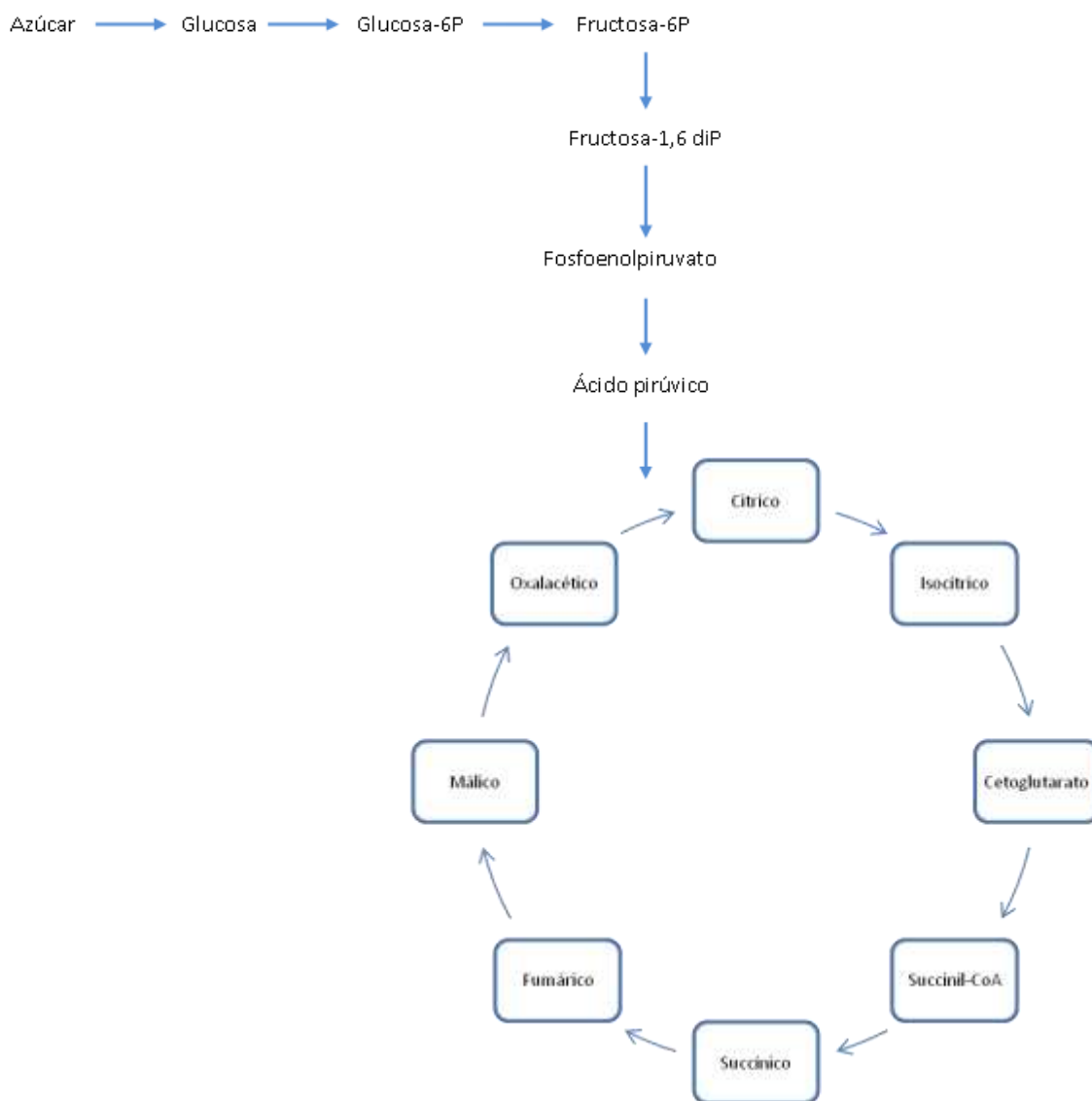
VARIABLE	REPRESENTACIÓN
Fructosa	703
Glucosa	765
Ac. ascórbico	479
Ac. oxálico	630
Ac. pirúvico	509
Ac. málico	574
Ac. cítrico	602
Ac. fumárico	487
Sodio (Na)	606
Magnesio (Mg)	522



**Figura 14.** Representación de las variables obtenidas en el HJ-Biplot

Se observa en la Figura 14 que el eje 1 está formado por los azúcares glucosa y fructosa y los ácidos mayoritarios cítrico y málico, es decir, por los principales responsables del ratio azúcares/ácidos que habitualmente se utiliza para definir la calidad gustativa del tomate y de otros muchas frutas.

En el primer cuadrante se encuentran localizado otros tres ácidos orgánicos más: fumárico, oxálico y pirúvico. Se podría decir que este primer cuadrante están representados aquellos compuestos que proceden del metabolismo primario de la planta ya que los azúcares son obtenidos por vía de la glucólisis y los ácidos son los representantes del ciclo de Krebs (Figura 15) (Azcon-Bieto y Talón, 2008).



**Figura 15.** Esquema simplificado de la glucólisis y ciclo de Krebs

En el cuarto cuadrante, y como variables de plano, aparecen: Na, ácido ascórbico y Mg. El que aparezca el Na cerca del primer eje, definido por el equilibrio azúcares/ácidos podría justificar los resultados de Hernández et al. (2010) que concluyeron que el sabor del tomate no sólo estaba definido por el contenido en azúcares y ácidos, sino además por minerales como el Na responsable del sabor salado, lo que está de acuerdo con lo que señalan Thybo, Edelenbos, Christensen, Sørensen y Thrup-Kristensen (2006) de que el sabor es consecuencia de más factores adicionales al contenido en azúcares y ácidos.

El que algunos autores no hayan incluido este mineral como uno de los responsables del sabor tampoco puede ser motivo de controversia. Desde el punto de vista agronómico, el Na es un mineral a controlar por su efecto negativo en el suelo y situación de estrés que origina a los cultivos, sin embargo, niveles relativamente altos de Na en productos hortofrutícolas puede explicarse, entre otros motivos, por efecto del spray marino (Vargas and Rodríguez, 2000), de gran importancia en producciones insulares, como es el caso de los tomates que en este trabajo se analizaron.

Analizando nuevamente la Figura 14, debajo del Na aparece el ácido ascórbico. Este ácido se sintetiza por rutas metabólicas distintas a la del ciclo de Krebs (Anexo VII.2), por ello se encuentra en otro cuadrante, además por tener una función distinta.

Respecto a su correlación con el Na, Zushi y Matsuzoe (2007) encontraron que el estrés salino induce cambios en el contenido en compuestos antioxidantes no enzimáticos como el ácido ascórbico, por incrementar la exposición a especies activas del oxígeno (ROS, por sus siglas en inglés Reactive Oxygen Species) y necesitar, por tanto, mayores contenidos de antioxidantes para contrarrestar sus efectos.

Por debajo del ácido ascórbico aparece el Mg, un mineral vinculado al sistema antioxidativo y a la fotosíntesis. Se ha comprobado que una deficiencia de este elemento origina una rápida activación de los mecanismos de defensa contra los ROS, como es la síntesis de ácido ascórbico (Cakmak y Marschner, 1992), lo que explica la covariación entre ambos compuestos.

De esto se deduce que el eje 2 está vinculado al metabolismo secundario de la planta, y en particular a la composición en antioxidantes, ya que está relacionado con el ácido ascórbico y el Mg; mientras que el eje 1 representa el metabolismo primario.

Comprobado el sentido biológico de las relaciones de las variables en el primer plano, el siguiente paso fue analizar la calidad de representación de los individuos en este plano. Cada muestra o individuo está definido por la concatenación de 3 características:

- La variedad, característica genética.
- El sistema de producción, característica agronómica.
- La época de maduración/recolección, característica ambiental.

El análisis de los individuos se facilitó al considerar aquellos casos donde estuvieran mejor representados, teniendo en cuenta para ello las calidades de representación para todos los casos (Tabla 6).

**Tabla 6.** Calidad de representación acumulada en el primer plano

Variedad	Sistema	Octubre	Diciembre	Febrero	Abril
<b>Dorothy</b>	<i>Convencional</i>	360	476	<b>648</b>	495
	<i>Ecológico</i>	770	250	<b>890</b>	47
	<i>Hidropónico</i>	<b>953</b>	584	518	455
<b>Boludo</b>	<i>Convencional</i>	528	272	<b>807</b>	771
	<i>Ecológico</i>	690	138	<b>700</b>	605
	<i>Hidropónico</i>	-	-	-	266
<b>Dominique</b>	<i>Convencional</i>	<b>682</b>	590	121	117
	<i>Ecológico</i>	632	240	<b>807</b>	-
	<i>Hidropónico</i>	-	-	-	-
<b>Thomas</b>	<i>Convencional</i>	187	344	327	<b>769</b>
	<i>Ecológico</i>	<b>830</b>	666	-	794
	<i>Hidropónico</i>	-	-	-	-
<b>Dunkan</b>	<i>Convencional</i>	-	214	<b>553</b>	-
	<i>Ecológico</i>	-	337	<b>715</b>	686
	<i>Hidropónico</i>	<b>934</b>	606	865	363

En la primera columna se muestran las 5 variedades de tomate muestreadas, en la segunda los tres sistemas de producción para cada variedad y en las 4 últimas columnas, correspondiente a cada mes de maduración/recolección, la calidad de representación en el plano formado por las dimensiones 1 y 2. En negrita se resalta aquellos casos donde la calidad de representación es más alta, y por tanto, los individuos que se considerarán.

Se observa que en el mes de diciembre, caracterizado por ser el periodo que menor cantidad de radiación o energía recibió para la fabricación de compuestos orgánicos, tuvo las calidades de representación más bajas, por lo que no se representan. En el mes de abril, la

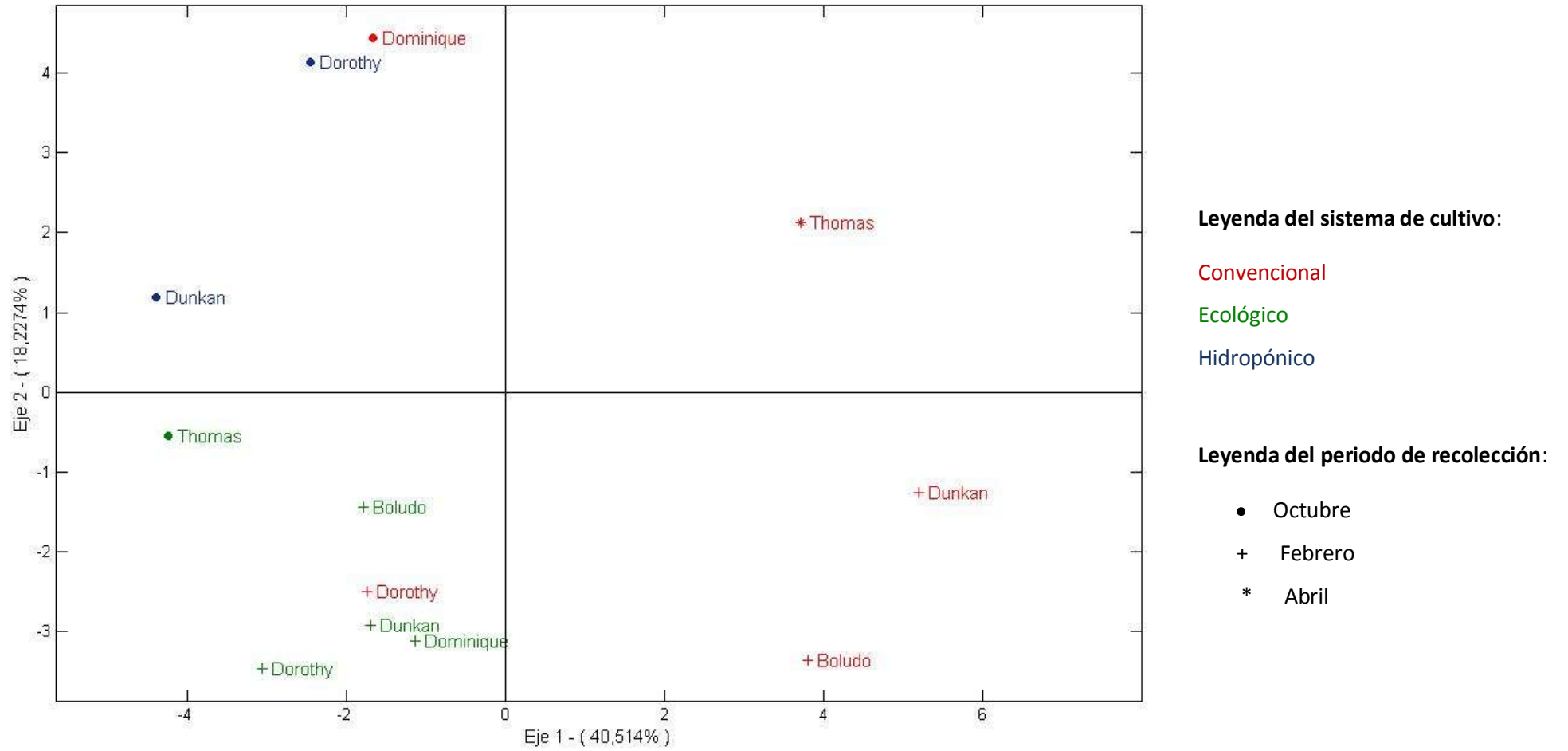
variedad Thomas producida de forma convencional es la única variedad que se representa adecuadamente. Sin embargo, es febrero la que mayor número de individuos bien representados tiene.

En la Figura 16, se representa mediante marcadores circulares las muestras de tomate recolectadas en octubre, por cruces las de febrero y por estrellas las de abril. Los colores representan el sistema de cultivo: rojo son sistemas convencionales, verde los ecológicos y en azul la producción hidropónica.

Se puede observar como el HJ-Biplot ha permitido separar las distintas fechas a pesar de haber definido cada individuo por la concatenación de 3 características, aún así el modelo parece haber discriminado correctamente. Por debajo del eje 1 están localizadas las muestras recolectadas en febrero, en los cuadrantes 3 y 4. En el segundo cuadrante están las muestras cosechadas en octubre y en el primer cuadrante está la única representación del mes de abril, la variedad Thomas convencional.

Además, parece intuirse otra separación por sistemas de cultivo. Las variedades ecológicas (las que están representadas en color verde) tienden a formar un grupo independiente del resto, aunque dentro del mismo esté la variedad Dorothy obtenida de forma intensiva. Juroszek, Lumpkin, Yang, Ledesma y Ma (2009) indicaron que un correcto manejo de la fertilización puede hacer que no hayan diferencias entre tomates ecológicos y convencionales, pudiendo ser esta la causa de estar la variedad Dorothy intensiva dentro del grupo de los ecológicos.

En cuanto a los sistemas convencionales e hidropónicos, ambos son sistemas intensivos pero la principal diferencia es el medio en el que se desarrollan y la forma de suministrar los minerales, por lo que no es de extrañar que estos dos sistemas estén juntos (segundo cuadrante).



**Figura 16.** Distribución de los individuos obtenidos en el HJ-Biplot

En la Figura 17, se muestra la representación Biplot del análisis. En el mismo se puede apreciar que la mayoría de los individuos están localizados opuestamente a la dirección de crecimiento de los vectores que representan a las variables. La dimensión o eje 1, relacionado con el equilibrio azúcares/ácidos o grado de madurez permite diferenciar las muestras maduras y recolectadas en febrero (salvo el caso de la variedad ecológica Thomas del mes de octubre) del resto de los meses.

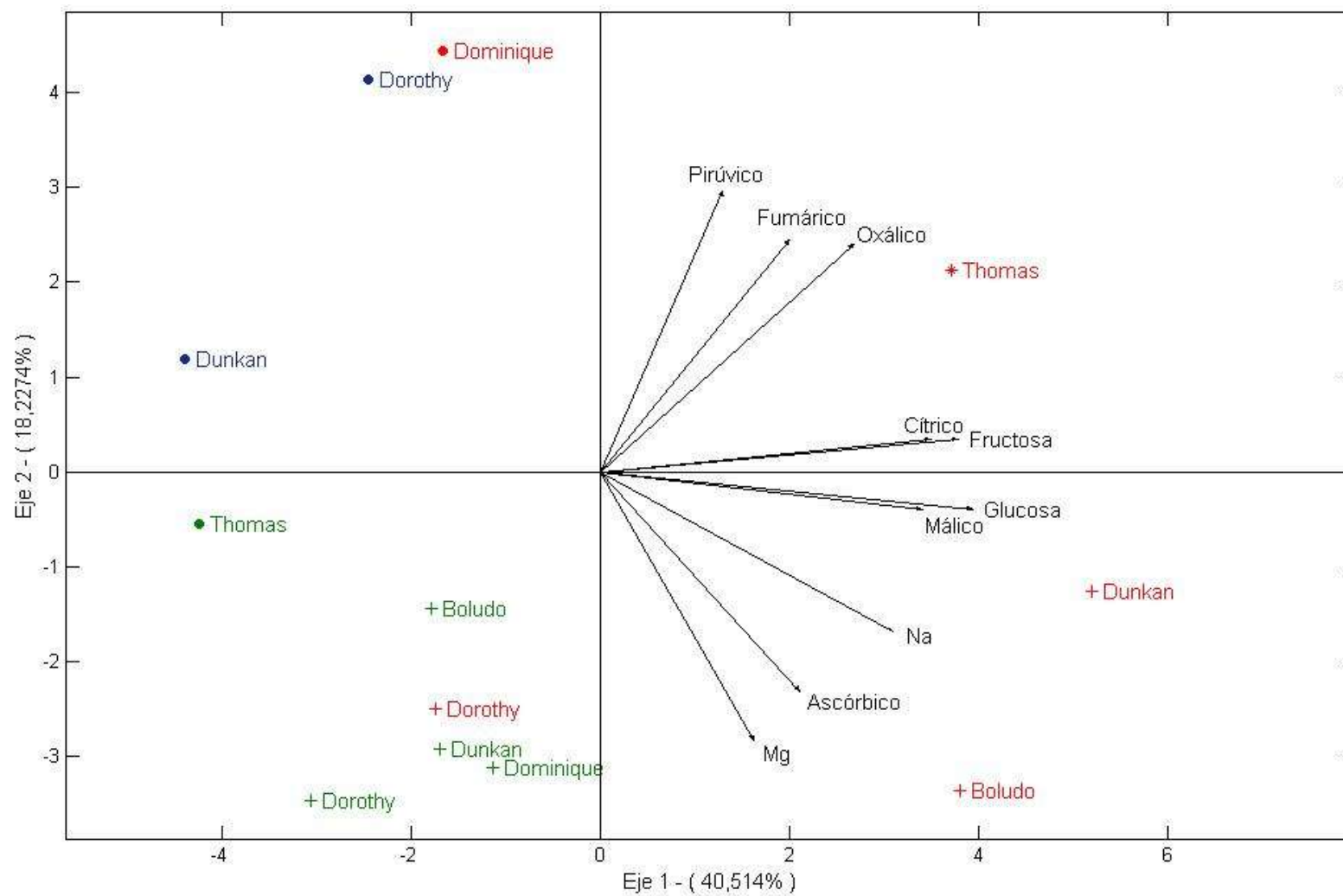
Por su parte, las variedades ecológicas (color verde), están más cercanas a la segunda dimensión (eje 2) que se definió anteriormente por estar vinculada a la capacidad antioxidante. Winter y Davis (2006) y Juroszek et al. (2009) plantean la hipótesis de que los sistemas ecológicos, al disponer de menores recursos externos que les permite combatir situaciones de estrés (no se usan fertilizantes ni pesticidas), la planta se ve obligada a sintetizar mayor cantidad de estos compuestos, a diferencia de los convencionales.

Algunas sustancias antioxidantes como los compuestos fenólicos, aportan a los alimentos características sensoriales tales como astringencia y amargor (Bravo, 1998), por lo que no es de extrañar que cada eje esté formado por sustancias responsables de características nutricionales y organolépticas distintas, sin obviar el hecho de que proceden de rutas metabólicas distintas: metabolismo primario (eje 1) vs metabolismo secundario (eje 2).

Por su parte las muestras Dunkan y Thomas convencional están más próximas a los ácidos orgánicos y los azúcares, lo que puede ser debido a que con prácticas como la fertilización favorece la síntesis de azúcares y ácidos. Como se observa en la Figura 15, las moléculas de glucosa y fructosa están ligadas al fósforo (glucos-6P, fructosa-6P y fructosa-1,6diP) por lo que la fertilización con este mineral es esencial para el desarrollo de la glucólisis (Azcón-Bieto y Talón, 2008). Además, como se comentó en el apartado de Introducción, la fertilización nitrogenada incrementa la acidez (Wright y Harris, 1985).

Con la definición que se ha hecho de los ejes, si se desea encontrar una variedad de tomate que posea una calidad nutricional y organoléptica "ideal" en términos de una alta relación azúcares/ácidos y adecuados niveles de antioxidante se tendría que elegir aquella variedad localizada en la bisectriz del 4º cuadrantes y que en este caso coincide con la variedad intensiva Boludo en el mes de febrero.





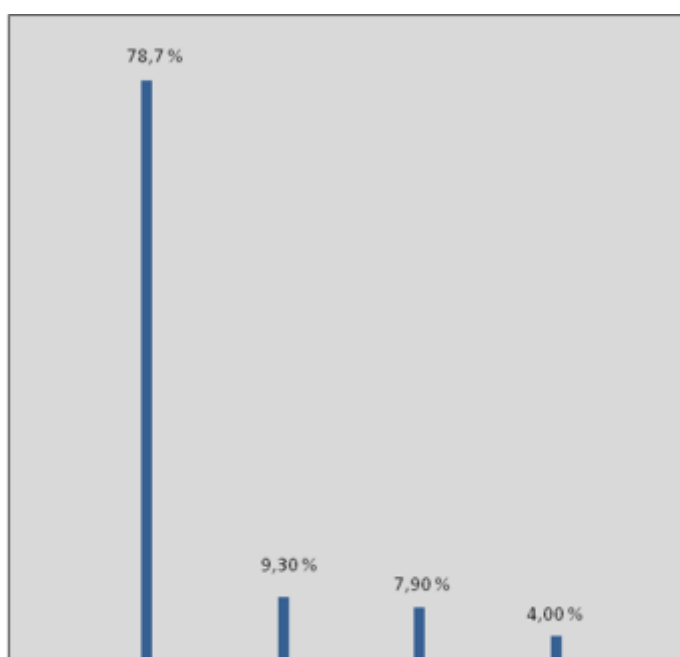
**Figura 17.** Representación del HJ-Biplot

A pesar de la complejidad de trabajar con datos biológicos y con una matriz de datos donde los individuos están definidos por la concatenación de 3 características, el HJ-Biplot ha permitido definir adecuadamente complejas relaciones entre los factores de producción y la composición química del tomate, al deducirse de los resultados obtenidos que las producciones ecológicas en condiciones ambientales de bajas temperaturas y radiación solar favorecen la síntesis de compuestos antioxidantes tales como el ácido ascórbico, mientras que los sistemas intensivos junto con valores de radiación y temperatura altos favorecen la síntesis de azúcares por lo que obtendrán una relación azúcares/ácidos mayor. Menor influencia tiene la variedad de tomate en la composición química cuando el grado de madurez es el mismo para todas las variedades.

## IV.2 DISCUSIÓN BROMATOLÓGICA

La bromatología es la ciencia de los alimentos y se encarga de la descripción de las propiedades de los mismos, como puede ser su composición química y su variación acorde a diversos factores. Por tal motivo, y sabiendo que el HJ-Biplot no reproduce la matriz de datos original (Galindo, 1986) se aplicó el análisis STATIS-dual para describir la estructura cúbica de los datos (Figura 3).

Lo primero que se realizó fue determinar si era correcto o no la utilización del STATIS-dual mediante el análisis de los valores propios obtenidos tras el proceso de diagonalización. Si el primer valor propio absorbe la mayor variabilidad con respecto a los otros, se justifica lo acertado del método y los resultados obtenidos desde el punto de vista estadístico. En este caso, el primer valor propio absorbe el 78,9 % de la varianza (Figura 18).



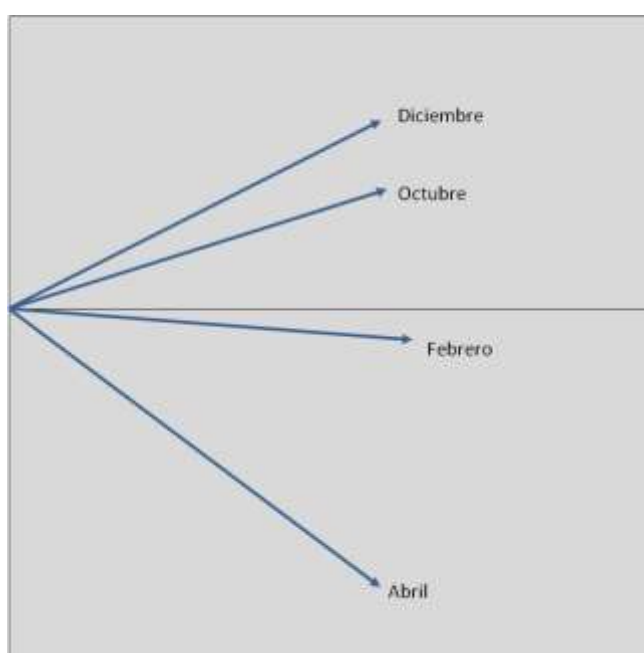
**Figura 18.** Representación de los valores propios

Antes de proceder al análisis de la interestructura, fue necesario definir el número de ejes o dimensiones suficientes para una correcta descripción. Al igual que se planteó para el caso del HJ-Biplot, se tomaron las dos primeras dimensiones que explicaban el 59, 87% de la varianza (Tabla 7).

**Tabla 7.** Inercia explicada por cada dimensión

Dimensión	Eigenvalue	Inercia	Inercia acumulada
1	8,0579·e-01	0,4031	0,4031
2	3,9101·e-01	0,1956	0,5987
3	2,6328·e-01	0,1317	0,7304
4	1,6212·e-01	0,0811	0,8116
5	1,1883·e-01	0,0594	0,8710
6	9,5121·e-02	0,0476	0,9186
7	7,3582·e-02	0,0368	0,9554
8	6,4578·e-02	0,0323	0,9877
9	1,5727·e-02	0,0079	0,9956
10	8,8426·e-03	0,0044	1,0000

Tras estos primeros paso, la interestructura obtenida fue la que se muestra en la Figura 19, en la que se aprecia que la matriz compromiso es muy similar a la matriz de datos del mes de febrero. Fue este mes el que tuvo mayor número de individuos bien representados en el HJ-Biplot (Tabla 6). Diciembre y octubre se muestran próximos entre sí, mientras que el mes de abril es el que más se distancia de la matriz compromiso. La matriz de correlación vectorial se muestra en la Tabla 8:

**Figura 19.** Interestructura

**Tabla 8.** Matriz de correlaciones vectoriales

	Octubre	Diciembre	Febrero	Abril
Octubre	1			
Diciembre	0,685	1		
Febrero	0,775	0,758	1	
Abril	0,651	0,638	0,780	1

El programa ADE-4 da información referente a al proceso de construcción de la matriz compromiso, tal y como se recoge en la Tabla 9. En la primera columna se muestran las situaciones de estudio, en este caso los distintos meses en los que se tomaron las muestras. En la segunda columna se recoge el número de filas que tiene cada matriz de datos, luego parecen los coeficientes de ponderación o pesos para la construcción de la matriz de compromiso. La cuarto columna da el valor de la norma obtenida por el proceso y en la última columna aparece información del valor del ángulo entre cada situación y el compromiso. Cuanto más cerca de la unidad se encuentre el valor del coseno mayor parecido habrá con la matriz compromiso. En este caso, a excepción de diciembre, todos los meses tienen un parecido similar al compromiso. Cuando se realizó el HJ-Biplot fue el mes de diciembre el que peor representado estaba.

**Tabla 9.** Valores de distintos factores

Ocasión	Filas	Peso	NS norma <sup>2</sup>	Cos <sup>2</sup>
Octubre	10	4,944-e-01	2,988-e-01	0,721
Diciembre	12	4,891-e-01	2,404-e-01	0,549
Febrero	11	5,283-e-01	2,801-e-01	0,724
Abril	11	4,872-e-01	3,740-e-01	0,708

Analizada la interestructura el siguiente paso fue describir la matriz compromiso. El método STATIS-dual se centra en las variables, es decir, sólo obtendrá una representación media o compromiso de las relaciones entre las variables en cada situación estudiada, en este caso, en las distintas fechas de maduración/recolección (Figura 20).



**Figura 20.** Representación de las variables compromiso

Al igual que el HJ-Biplot, el método STATIS-dual representa la estructura de covariación de las variables pero la diferencia se encuentra en el espacio en el que se proyecta, que en este caso se hace en un espacio compromiso que recoge las características medias de las distintas situaciones de estudio, por eso se aprecian diferencias entre las 2 representaciones.

Comparando la representación de las variables obtenidas por ambos métodos se observa que ambas son imágenes especulares aunque se sigue apreciando una separación de compuestos derivados del metabolismo primario (azúcares de la glucólisis y ácidos orgánicos del ciclo de Krebs, Figuras 14 y 15) de los procedentes de otras rutas (Anexo

VII.2). Sin embargo, más cerca de los azúcares hay un ácido minoritario como es el oxálico y el ácido ascórbico está más cerca del segundo eje que en el caso anterior.

Al tratarse de una representación compromiso o media, se analizó la trayectoria de las variables, es decir, la influencia que las características climáticas tiene sobre cada ellas (Figura 21). En cada figura se muestra un polígono cuya flecha indica el sentido de avance de la trayectoria en las distintas ocasiones, es decir, de octubre a abril. Cada mes está reflejado por un nodo: octubre y abril son los nodos iniciales y finales respectivamente del polígono abierto, mientras que diciembre y abril son los nodos dos y tres respectivamente.

Los azúcares glucosa y fructosa muestran trayectorias cortas y próximas al eje 1 por lo que estarán bien representadas en dicho eje. El ácido ascórbico, en cambio, tiene para los tres primeros periodos trayectorias cortas cercanas al eje 2 mientras que el periodo de diciembre se aleja de forma considerable de este eje por lo que cabe esperar que el ácido ascórbico se muestre cerca del eje 2.

El ácido oxálico, al igual que los azúcares, muestra trayectorias que lo asocian al eje 1 aunque el segundo periodo lo aleja ligeramente del mismo por lo que estará muy representado en este eje. El contenido de ácido pirúvico es variable en cada situación por lo que su representación será casi como una variable de plano del 4º cuadrante.

Los ácidos málico y cítrico muestran trayectorias similares. Los tres últimos periodos harían que estas variables fueran variables de eje (eje1) pero el contenido de ambos ácidos en el primer periodo hace que se alejen y puedan considerarse casi variables de plano.

El ácido fumárico tuvo un comportamiento similar para los tres primeros periodos mientras que el contenido en el cuarto periodo ha sido distinto y el responsable de que su representación se aleje de la posición intermedia que cabría esperar.

Los minerales tienen un claro comportamiento de variables de plano. El Na tubo concentraciones distintas en cada una de las situaciones y el contenido en Mg fue muy similar en los tres últimos periodos pero diferentes si se compara con el primero (octubre).

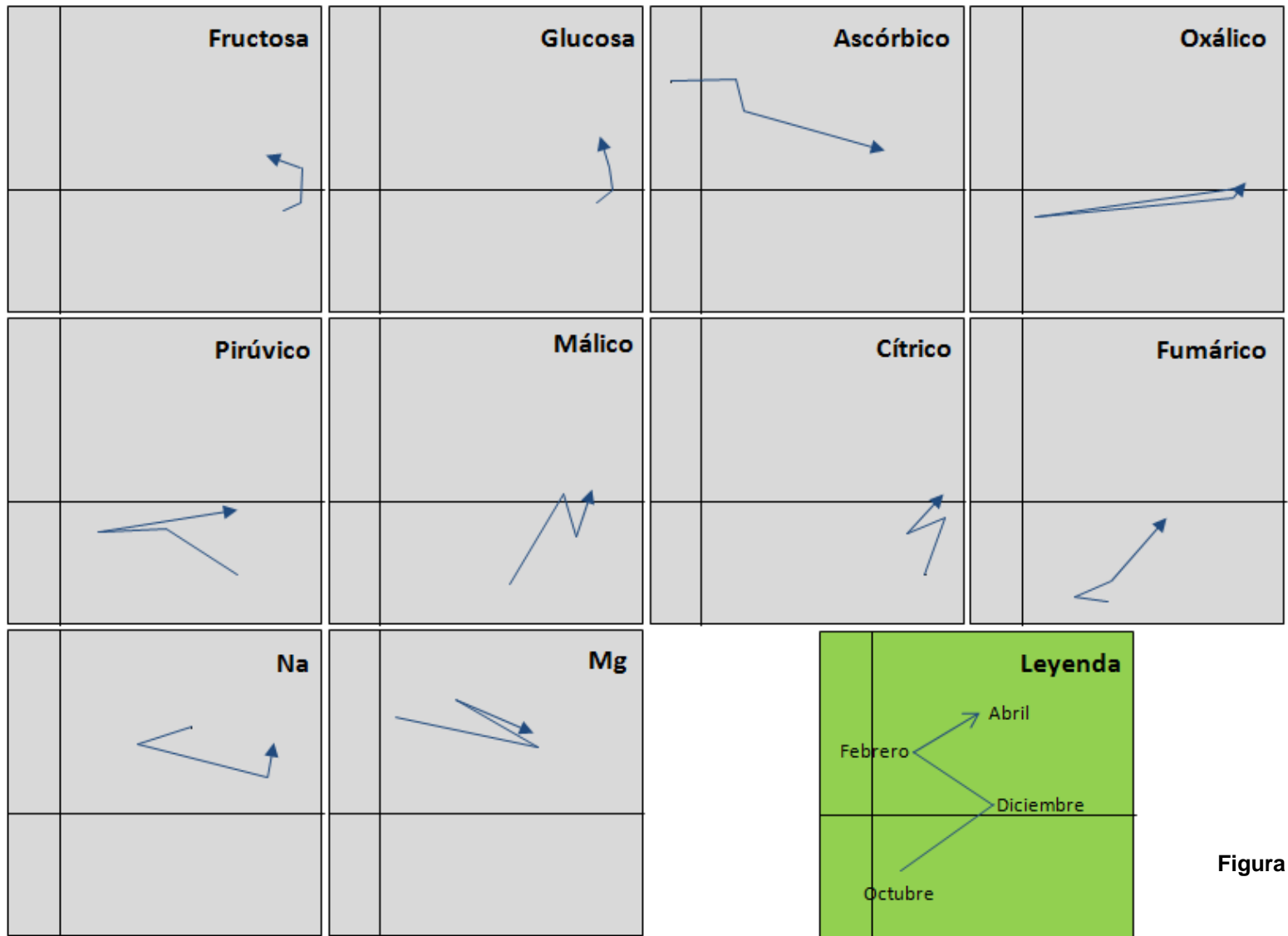


Figura 21. Trayectoria de las variables



En resumen, como variables de eje 1 se encuentran los azúcares y el ácido oxálico y cercano a él los ácidos málico y cítrico, si no fuera que sus contenidos en el mes de octubre los ha alejado, por lo que se podría asumir que el eje 1 está muy vinculado al equilibrio azúcares/ácidos y por tanto con la definición de sabor dado por diversos autores.

Como variables de eje 2 se podría incluir el ácido ascórbico aunque estará alejado por el efecto que tiene en el contenido medio la concentración que hay de este ácido en el mes de abril. Próximo a este eje se encuentra el Mg. Se podría decirse que el eje 2 representa a los antioxidantes. El resto de variables se pueden definir como variables de plano. El Na estará en el primer cuadrante y el resto de ácidos en el cuarto cuadrante.

Esta configuración compromiso va a poder permitir discutir el contenido medio de cada variable química en cada una de las muestras de tomates y para cada situación, como se muestra en la Figura 22 y determinar en qué caso se tiene una muestra de tomate con las dos propiedades de sabor deseables: alta relación azúcares/ácidos y alto contenido en compuestos antioxidantes. En este caso, y atendiendo a la definición de los ejes, aquellos tomates que estén en el primer cuadrante, alejados del centro, y próximos a la bisectriz de  $45^\circ$  son los que poseerían ambas características, teniendo propiedades nutricionales y organolépticas de mayor interés.

El haber realizado inicialmente un HJ-Biplot ha permitido reconocer un patrón de comportamiento de la composición química en función de las variables productivas, lo que ha facilitado la interpretación del STATIS-dual que al tener un mayor número de individuos representados dificultarían la extracción de algún tipo de conclusión.

Un primer análisis de la Figura 22 muestra que en las 4 situaciones de estudio no hay una tendencia a la discriminación entre sistemas de producción al aparecer muy mezcladas, a diferencia de lo que sí sucedía en el HJ-Biplot. Por variedades tampoco parece haber una tendencia a la agrupación, tal vez debido a dos motivos. Uno de ellos podría ser consecuencia de haber llevado a cabo el muestreo en el mismo estado de madurez y el otro motivo podría ser consecuencia que el factor genético sólo es importante en aspectos tales como la producción o la resistencia a situaciones de estrés y no tanto en lo que se refiere a la composición química nutricional.

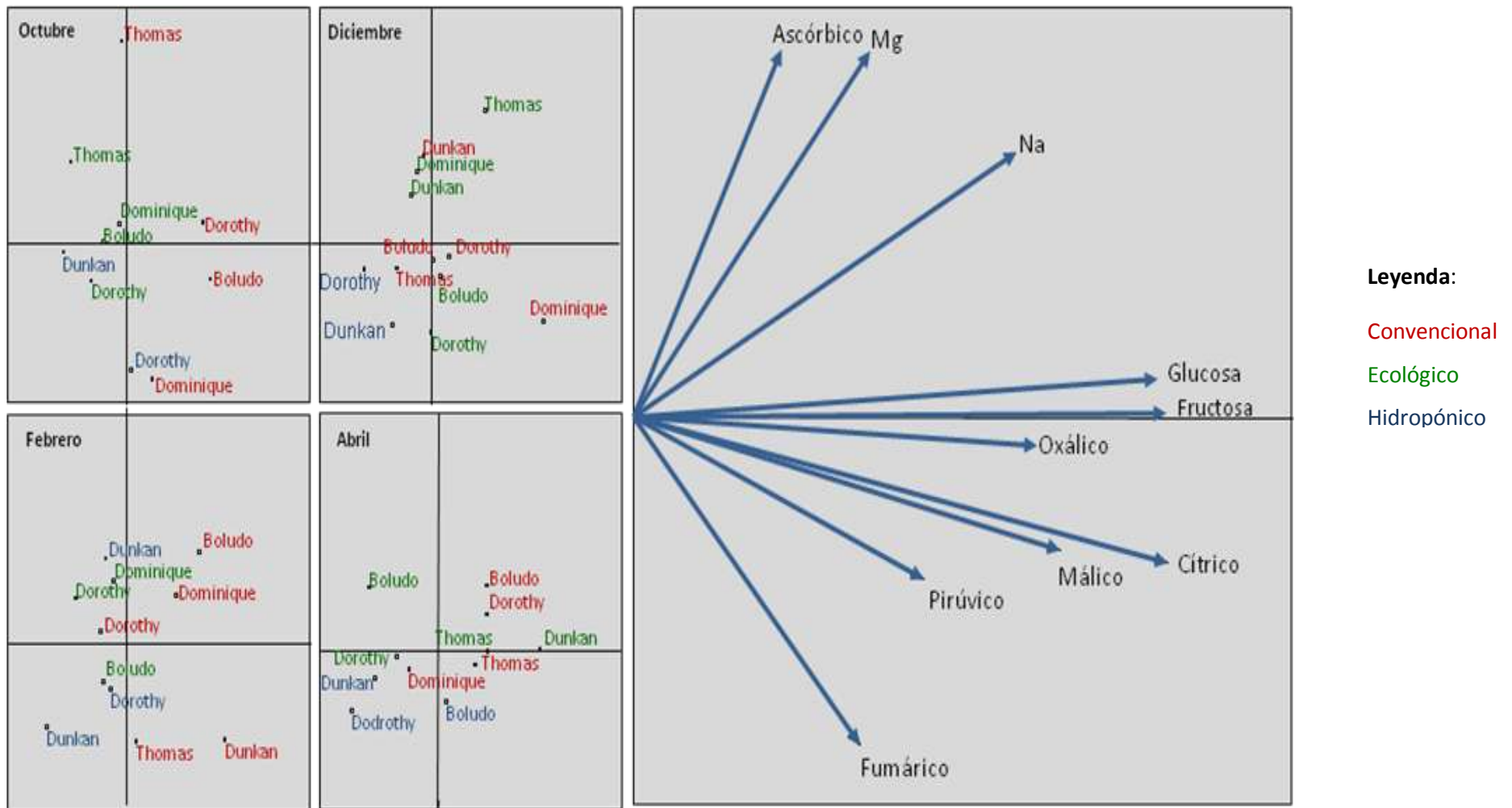


Figura 22. Representación conjunta

Una evaluación más profunda de las distintas situaciones analizadas muestra como en los meses más fríos (octubre, diciembre y febrero) la mayoría de los individuos están dispuestos a lo largo del eje 2, es decir, a lo largo del eje definido por el contenido en compuestos antioxidantes, pero no se puede obtener una conclusión del efecto del sistema de cultivo, contrariamente a lo que sí sucedía en el HJ-Biplot. Esto tiene sentido si se considera que los compuestos antioxidantes favorecen la adaptación al medio y varían mucho con el genotipo (Raffo et al., 2006; Toor, 2004).

En cambio, en el mes de abril los individuos están más localizados a lo largo del eje 1. Posiblemente, al aumentar la cantidad de radiación y temperatura la planta fotosintetizaba más y hay mayor disponibilidad de estructuras carbonadas para la síntesis de azúcares y compuestos derivados como se muestra en la Figura 15 (Azcón-Bieto y Talón, 2008).

Los meses de octubre y febrero tuvieron un coeficiente de correlación vectorial de 0,775 mientras que entre diciembre y febrero fue de 0,758 (Tabla 8). Posiblemente sea debido a que el ácido ascórbico, y la vitamina C, es propio de la época invernal por su carácter foto y termosensible (Valpuesta y Botella, 2004).

En el mes de octubre son las variedades convencionales las que se localizan en las direcciones de crecimiento de los vectores, siendo Dorothy y Boludo las que mayor contenido tienen en azúcares y ácido oxálico. Como se ha comentado anteriormente el abonado nitrogenado y fosfórico, propio de los sistemas de explotación intensivo, juegan un papel muy importante en la síntesis de ácidos y azúcares respectivamente. Esta explicación deja fuera las variedades hidropónicas pero sería necesario conocer como ha sido el manejo del fertirriego para saber qué cantidad de nutrientes se ha aportado.

Por su parte, es la variedad intensiva Thomas la que mayor contenido tiene en ácido ascórbico. En este mes no se aprecia ninguna variedad que tengan ambas características simultáneamente. El hecho de que las variedades ecológicas estén más adelantadas respecto a las hidropónicas, sugiere un claro efecto del suelo a favor de los sistemas convencionales y ecológicos.

En el mes de diciembre se confirma lo expuesto anteriormente. La radiación y la temperatura disminuyeron respecto a octubre (Tabla 4) y metabólicamente hay una tendencia a sintetizar mayor cantidad de ácido ascórbico (Valpuesta y Botella, 2004). Asimismo, las muestras procedentes de sistemas hidropónicos destacan por tener el menor contenido de cada uno de los compuestos. La variedad intensiva Dominique fue la que mayor contenido mostró en los ácidos cítrico y málico, así como de azúcares.

En el mes de febrero se muestra una clara distribución de las variedades a lo largo del eje 2, salvo para los casos de las variedades intensivas Boludo, Dominique y Dunkan. Es en este mes precisamente donde se puede encontrar una variedad con una composición química "ideal" por presentar una relación relativamente alta de azúcares/ácidos y alta de antioxidantes (ácido ascórbico) y Mg, que es la variedad Boludo obtenida de forma intensiva, siendo la misma conclusión a la que se llegó en el HJ-Biplot.

Este resultado tiene especial interés para las producciones de tomates de alta calidad, potenciando el cultivo bajo cubierta donde se pueden controlar las características ambientales.

En el mes de abril se vuelve apreciar como las variedades hidropónicas están ubicadas en la dirección contraria a la de crecimiento de los vectores de los azúcares, mientras que las ecológicas y las convencionales poseen valores medios casi similares, lo que refuerza la hipótesis de la influencia positiva del suelo y que un manejo adecuado del cultivo no tiene porqué originar diferencias entre sistemas productivos (Juroszek et al., 2009).

Como conclusión, parece apreciarse un efecto positivo del sabor en aquellos tomates cultivados en suelo, independientemente si se realiza de forma convencional o ecológica. Asimismo, se aprecia un claro efecto de las condiciones ambientales para favorecer la síntesis de azúcares y ácidos respecto a la síntesis de compuestos antioxidantes como el ácido ascórbico.

Esta conclusión es más general que la obtenida en el HJ-Biplot que fue capaz de vincular los efectos de las características climáticas y del sistema de producción para explicar la composición química del tomate

## V. CONCLUSIONES



Como conclusiones del Trabajo cabe destacar:

1. El HJ-Biplot ha permitido poner de manifiesto las complejas relaciones existentes en la matriz de datos a pesar de emplear tan sólo dos valores principales que explicaban el 58,74% de la varianza.
2. El HJ-Biplot ha permitido dar una conclusión más específica sobre la relación entre factores productivos y la composición química, destacando:
  - a. El factor más influyente para obtener una alta relación azúcares/ácidos es la producción mediante un sistema de cultivo convencional o intensivo durante el periodo más cálido, con condiciones climáticas similares a las del mes de abril.
  - b. El factor más influyente para obtener tomates con un mayor contenido en compuestos antioxidantes tales como el ácido ascórbico, y Mg, es la producción mediante un sistema de cultivo ecológico durante los meses más fríos.
3. Estos resultados permiten considerar al HJ-Biplot como una herramienta adecuada de análisis en agrobiología.
4. Por su parte, el método STATIS-dual permitió dar conclusiones más generales, destacando:
  - a. La composición química se ve afectada por el periodo de maduración/recolección, siendo el periodo más cálido donde hay mayor contenido en azúcares.
  - b. Existe un efecto positivo del cultivo en suelo, tanto del sistema convencional como ecológico, respecto al sistema hidropónico en el contenido de azúcares, ácidos y antioxidantes.
5. Para una correcta interpretación de las variables comprometidas obtenidas en el STATIS-dual es necesario analizar detenidamente la trayectoria de las variables en cada situación.
6. A igualdad de grado de madurez, la variedad, considerada de forma aislada, no parece ser un factor influyente en la determinación de las características del sabor.
7. Ambos métodos, HJ-Biplot y STATIS-dual, muestran información complementaria que favorecen un análisis más profundo de los datos.
8. De forma general, el individuo que mejores propiedades nutricionales y organolépticas, por su contenido en compuestos antioxidantes y por el equilibrio azúcares/ácidos respectivamente, fue la variedad intensiva Dunkan obtenida en

febrero (radiación  $14,2 \pm 4,7 \text{ w/m}^2$  y temperatura  $15,8 \pm 1,1^\circ\text{C}$ ), la cual podría ser usada como referencia para posibles mejoras en los sistemas productivos bajo protección (invernadero).

## VI. BIBLIOGRAFÍA





- Abushita, A., Daood, H. y Biacs, P. (2000). Change in carotenoids and antioxidants vitamins in tomato as a functional of varietal and technological factors. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 48, 2075-2081.
- Adegoroye, A. y Jolliffe, P. (1987). Some inhibitory effects of radiation stress on tomato fruit ripening. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 39, 297-302.
- Adrian, J., Potus, J., Poiffait, A. y Dauvillier, P. (2000). *Análisis nutricional de los alimentos*. Zaragoza: Acribia.
- AOAC: Official methods of analysis of AOAC (Eds.) (1990). *Food composition; additives; natural contaminants Vol. II*. Arlington: AOAC.
- Asami, D., Hong, Y., Barret, D. y Mitchell, A. (2003). Comparison of the total phenolic and ascorbic acid content of freeze-dried and air-dried marionberry, strawberry, and corn grown using conventional, organic, and sustainable agricultural practices. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 1237-1241.
- Audisio, M., Dante, D., De Cicco, A. y Suraci, C. (1993). Il contenuto di vitamina C nei pomodori in relazione ai metodi di coltivazione. *La Rivista di Scienza dell'Alimentazione*, 22, 513-518.
- Azcón-Bieto, J. y Talón, M. (2000). *Fisiología y bioquímica vegetal (2ª ed)*. Madrid: Interamericana-McGraw-Hill & UBe. 2008.
- Azondanlou, R., Darbellay, C., Luisier, J., Villettaz, J. y Amadó, R. (2003). Development of a model for quality assessment of tomatoes and apricots. *LWT- Food Science and Technology*, 36, 223-233.
- Bourn, D. y Prescott, J. (2002). A comparison of the nutritional value, sensory qualities, and food safety of organically and conventionally produced foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 42, 1-34.
- Buta, J. y Spaulding, D. (1997). Endogenous levels of phenolics in tomato fruit during growth and maturation. *Journal of Plant Growth Regulation*, 16, 43-46.
- Cakmak, I. y Marschner, H. (1992). Magnesium deficiency and high light intensity enhance activities of superoxide dismutase, ascorbate peroxidase, and glutathione reductase in bean leaves. *Plant Physiology*, 98, 1222-1227.
- Canene-Adams, K., Campell, J., Zaripheh, S., Jeffery, E. y Erdman, J. (2005). The tomato as a functional food. *Journal of nutrition*, 135, 1226-1230.

- Carbonaro, M., Mattera, M., Nicoli, S., Bergamo, P. y Cappelloni, M. (2002). Modulation of antioxidant compounds in organic vs conventional fruit (peach *Prunus persica* L., and pear, *Pyrus communis* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, 5458-5462.
- Cárdenas, O., Galindo, P y Vicente-Villardón, J.L. (2007). Los métodos Biplot: evolución y aplicaciones. *Revista Venezolana de Análisis de Coyuntura*, 13(1), 279-303.
- Castillo, W. y González, J. (1998). STATIS-dual: software y análisis de datos reales. *Revista de matemáticas: Teoría y aplicaciones*, 5(2), 149-162.
- Davies, J. y Hobson, G. (1981). The constituents of tomato fruit. The influence of environment, nutrition and genotype. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 15, 205-280.
- Dazy, F. y Le Barzic, F.J. (1996). *L'Analyse des données évolutives*. Paris: Technip.
- Dixon, R. y Paiva, N. (1995). Stress-induced phenylpropanoid metabolism. *The Plant Cell*, 7, 1085-1097.
- Dumas, Y., Dadomo, M., Di Lucca, G. y Grolier, P. (2003). Effects of environmental factors and agricultural techniques on antioxidant content of tomatoes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83, 369-382.
- Eckard, K. y Young, G. (1936). Approximation of one matrix by another of lower rank. *Psychometrika*, 1, 211-218.
- Fraser, P., Truesdale, M., Bird, C., Schuch, W. y Bramley, P. (1994). Carotenoid biosynthesis during tomato fruit development. *Plant Physiology*, 105, 405-413.
- Gabriel, k.R. (1971). The Biplot graphics display of matrices withy application to principal component analysis. *Biometrika*, 58, 453-467.
- Gabriel, K.R. y Odoroff, C.L. (1990). Biplots in biomedical research. *Statistics in medicine*, 9(5), 469-485.
- Galindo, P. (1986). Una alternative de representación simultánea: HJ-Biplot. *Questíio*, 1, 13-23.
- García, I. y Simón, E. (2002). Implementación del método STATIS mediante SPAD. *Metodología de encuestas*, 4(1), 129-139.
- Giovanelli, G., Lavelli, V., Peri, C. y Nobili, S. (1999). Variation in antioxidant components of tomato during vine and post-harvest ripening. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 79, 1583-1588.

- Giovanucci, E. (1999). Tomatoes, tomato-based products, lycopene, and cancer. *Review of the epidemiologic literature. Journal of the National Cancer Institute*, 91, 317-331.
- Giuntini, D., Graziani, G., Lercari, B., Fogliano, V., Soldatini, G. y Ranieri, A. (2005). Changes in carotenoid and ascorbic acid contents in fruits of different tomato genotypes related to the depletion of UV-B radiation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 3174-3181.
- Gómez, R., Costa, J., Amo, M., Alvarruiz, A., Picazo, M. y Pardo, J. (2001). Physicochemical and colorimetric evaluation of local varieties of tomato grown in SE Spain. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81, 1101-1105.
- Heaton, S. (2001). *Organic farming, food quality and human health. A review of the evidence* Bristol: The Soil Association.
- Hernández, M., Rodríguez, E. y Díaz, C. (2010, noviembre). Herramientas quimiométricas para la descripción de la composición química del tomate. Comunicación presentada en The 5th Scientific Meeting ISLA. Data Mining and Business Intelligence-Methods and Applications, Santarem, Portugal.
- Juroszek, P., Lumpkin, H., Yang, R., Ledesma, D. y Ma, C. (2009). Fruit quality and bioactive compounds with antioxidant activity of tomatoes grown on-farm: comparison of organic and conventional management systems. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57, 1188-1194.
- Kumpulainen, J. (2001). Organic and conventional grown foodstuffs: Nutritional and toxicological quality comparisons. *Proceedings of the International Fertilizer Society*, 472, 1-20.
- Lasheras, C., Huerta, J., González, S., Brana, A., Patterson, A. y Fernández, S. (2002). Independent and interactive association of blood antioxidants and oxidative damage in elderly people. *Free radical research*, 36(8), 875-882.
- Lavit, C. (1988). *Analyse conjointe de tableaux quantitatifs*. Paris: Masson.
- Lenucci, M., Cadinu, D., Taurino, M., Piro, G. y Dalessandro, G. (2006). Antioxidant composition in cherry and high-pigment tomato cultivars. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54, 2606-2613.
- Leonardi, C., Ambrosino, P., Esposito, F. y Fogliano, V. (2000). Antioxidative activity and carotenoid and tomatine contents in different typologies of fresh consumption tomatoes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48, 4723-4727.

- L'Hermier des Plantes, H. (1976). *Structuration des tableaux a trois indices de la statistique: Théorie et application d'une méthode d'analyse conjointe*. Tesis doctoral. University of Science and Technology of Languedoc.
- Lydon, J. y Duke, S. (1989). Pesticide effects on secondary metabolism of higher plants. *Pesticides Science*, 25, 361-373.
- Manach, C., Scalbert, A., Morand, C., Rémésy, C. y Jiménez, L. (2004). Polyphenols: Food sources and bioavailability. *American Journal of Clinical Nutrition*, 79, 727-747.
- Mozafar, A. (1993). Nitrogen fertilizers and the amount of vitamins in plants: a review. *Journal of Plant Nutrition*, 16, 2479-2506.
- Nielsen, S. (1994). *Food analysis (3<sup>rd</sup> Ed)*. New York: Kluwer Academic. 2003.
- Nuez, F. (Ed.) (1995). *El cultivo del tomate*. Madrid: Mundi-Prensa.
- Raffo, A., La Malfa, G., Fogliano, V., Madani, G. y Quaglia, G. (2006). Seasonal variations in antioxidant compounds of cherry tomatoes (*Lycopersicon esculentum* cv Naomi F1). *Journal of Food Composition and Analysis*, 19, 11-19.
- Stanimirova, I., Walczak, B., Massart, D., Simeonov, V., Saby, C. y Crescenzo, E. (2004). STATIS, a three-way method for data analysis. Application to environmental data. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 73, 219-233.
- Takeoka, G., Dao, L., Flessa, S., Gillespie, D., Jewell, W., Huebner, B., Bertow, D. y Ebeler, S. (2001). Processing effects on lycopene content and antioxidant activity of tomatoes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49, 3713-3717.
- Tarozzi, A., Hrelia, S., Angeloni, C., Morroni, F., Biagi, M., Guardigli, G., Cantelli-Forti, G. y Hrelia, P. (2006). Antioxidant effectiveness of organically and non-organically grown red oranges in cell culture systems. *European Journal of Nutrition*, 45, 152-158.
- Tawata, S., Taira, S., Kobamoto, N., Zhu, J., Ishihara, M. y Toyama, S. (1996). Synthesis and antifungal activity of cinnamic acid esters. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 60, 909-910.
- Thybo, A., Edelenbos, M., Christensen, L., Sørensen, J. y Thorup-Kristensen, K. (2006). Effect of organic growing systems on sensory quality and chemical composition of tomatoes. *LWT-Food Science and Technology*, 39, 835-843.

- Tünk, R., Seniz, V., Özdemir, N. y Süzen, M. (1993). Change in chlorophyll, carotenoid and lycopene content of tomatoes in relation to temperature. *Acta Horticulturae*, 398, 856-862.
- Valpuesta, V. Botella, M. (2004). Biosynthesis of L-ascorbic acid in plants: new pathways for an old antioxidant. *TRENDS in Plants Science*, 9(12), 573-577.
- Vargas, G. y Rodríguez, A. (2000). Influencia de las aguas de riego en los procesos de salinización y sodificación de suelos en cultivos de plátanos y tomates (I. Canarias). *Edafología*, 7, 129-136.
- Vicente-Villardón, J.L. (2010). Multibiplot: a package for multivariate analysis using Biplots. Departamento de Estadística. Universidad de Salamanca. Extraído el 2 de mayo de 2011, de <http://biplot.usal.es/multibiplot>.
- Wink, M. (2003). Evolution of secondary metabolites from an ecological and molecular phylogenetic perspective. *Phytochemistry*, 64, 3-19.
- Winter, C. y Davis, S. (2006). Organic foods. *Journal of Food Science*, 71, 117-124.
- Woese, K., Lange, D., Boess, C. y Bogl, K. (1997). A comparison of organically and conventionally grown foods- results of a review of the relevant literature. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 74, 281-293.
- Wright, D. y Harris, N. (1985). Effect of nitrogen and potassium fertilization on tomato flavor. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 33, 355-358.
- Yiridoe, E., Bonti-Ankomah, S. y Martin, R. (2005). Comparison of consumer perceptions and preference toward organic versus conventionally produced foods: A review and update of the literature. *Renewable Agriculture and food Systems*, 20(4), 193-205.
- Zhao, X., Carey, E., Wang, W. y Rajashekar, C. (2006). Does organic production enhance phytochemical content of fruit and vegetable? Current knowledge and prospects for research. *HortTechnology*, 16(3), 449-456.

# ANEXOS



## ANEXO VII.1 TABLAS CON LOS VALORES MEDIOS POR FECHAS

Tabla 10. Valores medios (g/kg) obtenidos en el mes de octubre

Variedad	Sistema	Fructosa	Glucosa	Oxálico	Pirúvico	Málico	Cítrico	Fumárico	Ascórbico	Na	Mg
<b>Dorothy</b>	<i>Convencional</i>	14,2829	12,0671	0,0350	0,0021	0,0424	0,3753	0,0029	0,1686	0,0872	0,1073
	<i>Ecológico</i>	8,5800	7,5175	0,0263	0,0018	0,0355	0,2575	0,0035	0,1375	0,0365	0,1023
	<i>Hidropónico</i>	9,9900	9,0167	0,0293	0,0020	0,0513	0,3270	0,0033	0,1033	0,0398	0,0792
<b>Boludo</b>	<i>Convencional</i>	13,6838	12,5538	0,0310	0,0019	0,0598	0,4044	0,0030	0,1088	0,0860	0,1127
	<i>Ecológico</i>	9,3275	8,1525	0,0275	0,0015	0,0413	0,2880	0,0030	0,1225	0,0385	0,1181
	<i>Hidropónico</i>	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
<b>Dominique</b>	<i>Convencional</i>	14,7400	13,0900	0,0260	0,0020	0,0450	0,3260	0,0030	0,0700	0,0424	0,0727
	<i>Ecológico</i>	13,2000	11,7533	0,0227	0,0013	0,0433	0,2570	0,0027	0,1367	0,0617	0,0925
	<i>Hidropónico</i>	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
<b>Thomas</b>	<i>Convencional</i>	11,6925	10,9850	0,0303	0,0015	0,0248	0,1985	0,0018	0,1900	0,1114	0,1235
	<i>Ecológico</i>	7,6850	7,4575	0,0213	0,0015	0,0428	0,2368	0,0018	0,1400	0,0629	0,1113
	<i>Hidropónico</i>	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
<b>Dunkan</b>	<i>Convencional</i>	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	<i>Ecológico</i>	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	<i>Hidropónico</i>	8,1500	7,8200	0,0210	0,0015	0,0405	0,2465	0,0025	0,1350	0,0371	0,0872

nd= nuestra no disponible

Tabla 11. Valores medios (g/kg)obtenidos en el mes de diciembre

Variedad	Sistema	Fructosa	Glucosa	Oxálico	Pirúvico	Málico	Cítrico	Fumárico	Ascórbico	Na	Mg
<b>Dorothy</b>	<i>Convencional</i>	12,9550	13,1925	0,0249	0,0011	0,0899	0,4276	0,0031	0,1625	0,0965	0,1203
	<i>Ecológico</i>	13,9850	12,8825	0,0273	0,0018	0,0613	0,4068	0,0033	0,1150	0,0519	0,1289
	<i>Hidropónico</i>	10,7925	11,4275	0,0240	0,0008	0,0688	0,3360	0,0023	0,1325	0,0384	0,1095
<b>Boludo</b>	<i>Convencional</i>	14,3163	14,9000	0,0236	0,0010	0,0744	0,3933	0,0031	0,1475	0,0819	0,1204
	<i>Ecológico</i>	12,2575	13,8075	0,0215	0,0013	0,0900	0,4588	0,0030	0,1600	0,0459	0,1308
	<i>Hidropónico</i>	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
<b>Dominique</b>	<i>Convencional</i>	21,1700	19,2725	0,0255	0,0020	0,0950	0,5318	0,0033	0,1300	0,0919	0,1357
	<i>Ecológico</i>	11,8425	13,2125	0,0213	0,0018	0,0575	0,3810	0,0025	0,1725	0,0838	0,1422
	<i>Hidropónico</i>	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
<b>Thomas</b>	<i>Convencional</i>	9,8825	11,2300	0,0315	0,0018	0,0530	0,3368	0,0025	0,1375	0,0901	0,1074
	<i>Ecológico</i>	17,5050	17,6250	0,0255	0,0013	0,0835	0,4343	0,0018	0,1875	0,0994	0,1479
	<i>Hidropónico</i>	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
<b>Dunkan</b>	<i>Convencional</i>	11,0000	9,7900	0,0280	0,0015	0,0810	0,3805	0,0020	0,1700	0,0939	0,1440
	<i>Ecológico</i>	11,5425	11,6775	0,0153	0,0010	0,0745	0,4010	0,0030	0,1775	0,1478	0,1123
	<i>Hidropónico</i>	12,1325	10,9725	0,0253	0,0015	0,0663	0,3613	0,0030	0,1275	0,0427	0,1123

nd = muestra no disponible



Tabla 12. Valores medios (g/kg) obtenidos en el mes de febrero

Variedad	Sistema	Fructosa	Glucosa	Oxálico	Pirúvico	Málico	Cítrico	Fumárico	Ascórbico	Na	Mg
<b>Dorothy</b>	<i>Convencional</i>	10,1933	11,2600	0,0172	0,0007	0,0652	0,3180	0,0020	0,1450	0,1488	0,1111
	<i>Ecológico</i>	9,5133	10,7533	0,0140	0,0003	0,0570	0,2313	0,0023	0,1767	0,0704	0,1247
	<i>Hidropónico</i>	10,0867	11,0600	0,0223	0,0010	0,0943	0,3300	0,0023	0,1533	0,0724	0,1114
<b>Boludo</b>	<i>Convencional</i>	13,7350	14,6463	0,0276	0,0009	0,1415	0,4924	0,0020	0,1988	0,1611	0,1374
	<i>Ecológico</i>	10,7033	12,9033	0,0170	0,0010	0,0757	0,3110	0,0023	0,1500	0,0523	0,1159
	<i>Hidropónico</i>	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
<b>Dominique</b>	<i>Convencional</i>	15,9333	19,3200	0,0313	0,0017	0,0567	0,2497	0,0017	0,1233	0,1543	0,1347
	<i>Ecológico</i>	13,6150	13,4200	0,0185	0,0005	0,0545	0,2740	0,0020	0,1650	0,0905	0,1292
	<i>Hidropónico</i>	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
<b>Thomas</b>	<i>Convencional</i>	11,6625	11,7425	0,0288	0,0020	0,0633	0,3720	0,0023	0,1425	0,0814	0,1013
	<i>Ecológico</i>	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	<i>Hidropónico</i>	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
<b>Dunkan</b>	<i>Convencional</i>	16,8150	17,4950	0,0265	0,0005	0,1970	0,5030	0,0030	0,1350	0,1890	0,1092
	<i>Ecológico</i>	10,9925	10,8825	0,0210	0,0010	0,0570	0,2265	0,0018	0,1625	0,1398	0,1302
	<i>Hidropónico</i>	6,6067	7,3500	0,0173	0,0010	0,0643	0,2430	0,0020	0,1100	0,0509	0,1035

nd = muestra no disponible

Tabla 13. Valores medios (g/kg) obtenidos en el mes de abril

Variedad	Sistema	Fructosa	Glucosa	Oxálico	Pirúvico	Málico	Cítrico	Fumárico	Ascórbico	Na	Mg
<b>Dorothy</b>	<i>Convencional</i>	15,1650	17,2500	0,0310	0,0008	0,1330	0,3358	0,0050	0,2025	0,2117	0,1095
	<i>Ecológico</i>	13,5100	11,3400	0,0223	0,0007	0,0843	0,2720	0,0040	0,1467	0,0602	0,1116
	<i>Hidropónico</i>	11,0400	9,2600	0,0150	0,0010	0,1100	0,2230	0,0030	0,1300	0,0166	0,0798
<b>Boludo</b>	<i>Convencional</i>	18,0475	19,0900	0,0240	0,0010	0,1220	0,3683	0,0035	0,1900	0,1487	0,1181
	<i>Ecológico</i>	11,3733	12,7133	0,0203	0,0010	0,0803	0,2243	0,0017	0,1533	0,0677	0,1043
	<i>Hidropónico</i>	15,4350	15,9875	0,0298	0,0013	0,1100	0,3798	0,0040	0,2050	0,0189	0,0678
<b>Dominique</b>	<i>Convencional</i>	11,6850	10,5400	0,0305	0,0010	0,1160	0,3340	0,0035	0,1600	0,0437	0,1034
	<i>Ecológico</i>	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	<i>Hidropónico</i>	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
<b>Thomas</b>	<i>Convencional</i>	16,4775	17,4275	0,0375	0,0018	0,1190	0,3310	0,0035	0,1575	0,1187	0,0998
	<i>Ecológico</i>	15,7700	19,0500	0,0340	0,0020	0,1120	0,4030	0,0040	0,1900	0,0832	0,1083
	<i>Hidropónico</i>	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
<b>Dunkan</b>	<i>Convencional</i>	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	<i>Ecológico</i>	15,2975	15,8800	0,0380	0,0038	0,1725	0,5060	0,0035	0,1675	0,2206	0,1308
	<i>Hidropónico</i>	14,2400	12,6500	0,0175	0,0010	0,0600	0,2595	0,0030	0,1350	0,0288	0,0865

nd = muestra no disponible

## ANEXO VII. 2 RUTAS METABÓLICAS DEL ÁCIDO ASCÓRBICO

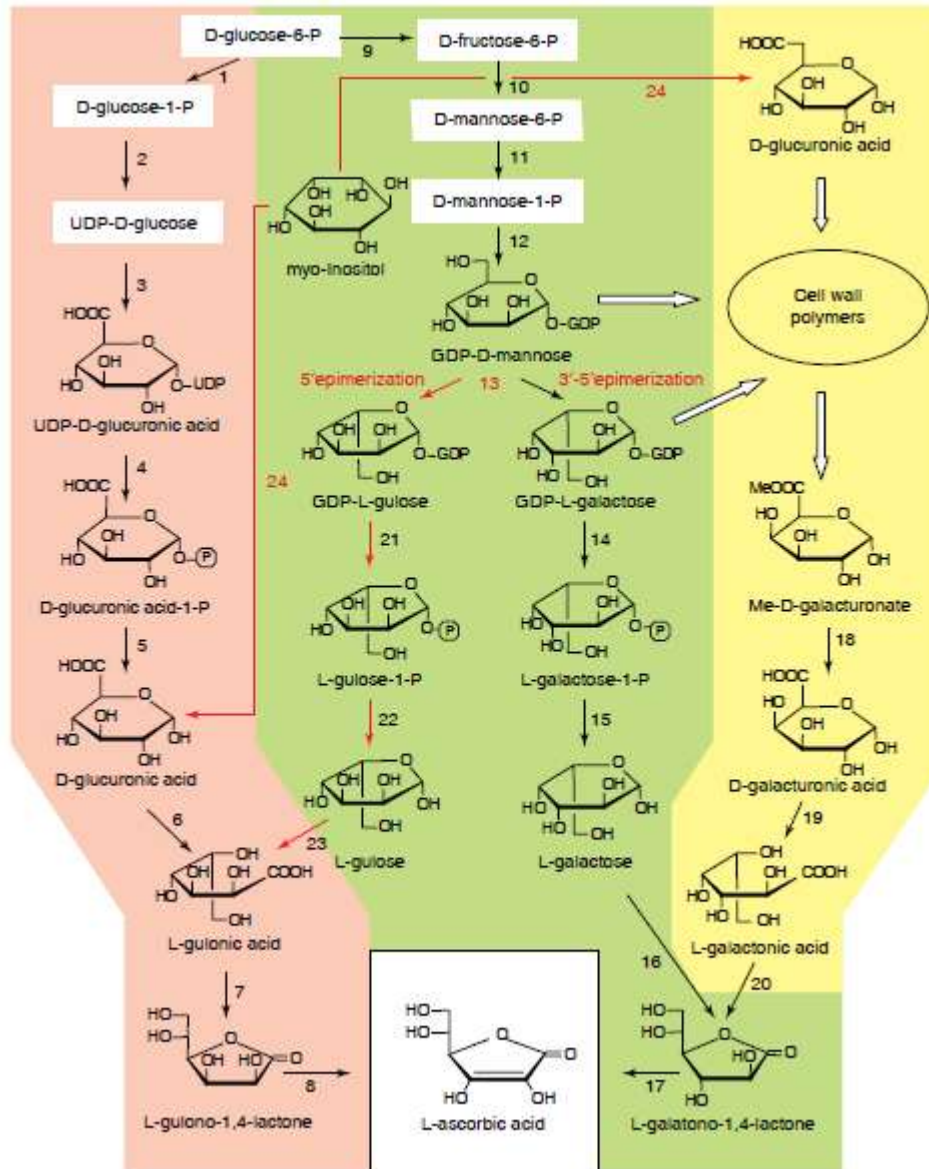


Figura 23. Rutas metabólicas del ácido ascórbico (Fuente: Valpuesta y Botella, 2004)