

**UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE**

**ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ORIHUELA**

**GRADO EN INGENIERÍA AGROALIMENTARIA Y AGROAMBIENTAL**



**COMBINACIÓN DE TRATAMIENTOS PRE-COSCHA CON EFECTOS  
ANTIFÚNGICOS EN NARANJO**

**TRABAJO FIN DE GRADO**

**JULIO – 2024**

Autor: Víctor Ferreruela Montanel

Tutor: Vicente Serna Escolano

Tutor: Pedro Javier Zapata Coll



**UNIVERSITAS**  
*Miguel Hernández*

## COMBINACIÓN DE TRATAMIENTOS PRE-COSCHA CON EFECTOS ANTIFÚNGICOS EN NARANJO

La naranja es de entre los cultivos cítricos el más demandado y consumido a nivel mundial. Sin embargo, las podredumbres relacionadas con la acción de hongos fitopatógenos en este cultivo suponen una de las principales pérdidas económicas en las cadenas de suministro. En la actualidad, el control de dichas podredumbres se realiza con fungicidas de síntesis. Sin embargo, los consumidores demandan alternativas sin residuos respetuosas con la salud humana y medio ambiente. Por lo tanto, el objetivo del trabajo fue conocer el efecto de los tratamientos pre-cosecha con silicato potásico (SP) y bicarbonato sódico (BS) en naranjas 'Navel' en el momento de la recolección y tras 42 días de almacenamiento refrigerado. En el momento de la recolección, la firmeza fue mayor en los frutos tratados con SP 0,1 % y 1 %, observado el peor resultado en los frutos tratados con BS 1 % y siendo iguales en los frutos control y los tratados con BS 0,1 %. Respecto al índice de color de cítricos (ICC) los frutos control fueron los que mayor valor mostraron. Además, no se observaron diferencias significativas en el índice de madurez (IM). Tras 42 días de almacenamiento refrigerado, los frutos tratados con BS 1 % tuvieron mayores pérdidas de peso y menor firmeza que el resto, lo que se relacionó con una mayor tasa de respiración. Respecto al contenido en fenoles totales y actividad antioxidante total en la piel los frutos tratados con BS 1 % y SP 1 % tuvieron menor concentración que el resto durante todo el ensayo. La incidencia de podredumbres se controló de forma más efectiva en los frutos tratados con BS 1 % y SP 1 %. Por lo tanto, los tratamientos con BS y SP podrían ser una alternativa efectiva para el control de las podredumbres en post-cosecha.

**Palabras clave:** Cítricos, naranjo, vida útil, pre-cosecha, post-cosecha.

## COMBINATION OF PRE-HARVEST TREATMENTS WITH ANTIFUNGICAL EFFECTS ON ORANGE TREES

Globally, orange is among citrus crops the most demanded and consumed. Although, disease caused by fungus cause important economic losses in the supply chain. Currently, disease control is carried out with synthetic fungicides. However, consumers demand alternatives without residues and that are healthily and environmentally friendly. Therefore, the aim of this study, is to grasp the effect of pre-harvest treatments of potassium silicate (SP) and sodium bicarbonate (BS) on 'Navel' oranges at harvest and after 42 days of chilled storage. After harvest, firmness was higher on fruits treated with SP 0,1 % and 1%, while the worst result was on fruit treated with BS 0,1 % and beins BS 0,1% and control equal. Regarding the citrus colour index (ICC), control fruits scored the highest values. In addition, there were no significant differences in maturity index (IM). After 42 days of chilled storage, fruits treated with BS 1% had higher weight loss and lower firmness, what was correlated with higher respiration rates. Regarding the phenolic total content and total antioxidant activity on the rind at harvest, fruits treated with BS 1% and SP 1% had lower concentration than other treatments. These differences were sustained after chilled storage. Finally, disease levels were higher in fruits treated with BS 0,1 % and SP 1 %. Therefore, treatments with BS and SP are an effective alternative for post-harvest disease control.

**Keywords:** Citrus, orange, shelf-life, pre-harvest, post-harvest.

## ÍNDICE GENERAL

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>8</b>
1.1	CONTEXTO ECONÓMICO DE LOS CÍTRICOS.....	8
1.2	DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA.....	11
1.3	ORIGEN DE LOS CÍTRICOS.....	12
1.4	CLASIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN BOTÁNICA.....	15
1.5	GRUPOS VARIETALES.....	16
1.6	PATRONES .....	20
1.7	DESARROLLO Y MADURACIÓN DE LA NARANJA.....	22
1.8	COMPOSICIÓN DE LA NARANJA .....	24
1.9	LA POST-COSECHA DE LOS CÍTRICOS .....	26
1.10	CONTROL DE ENFERMEDADES POST-COSECHA.....	33
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>39</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGÍA .....</b>	<b>40</b>
3.1	MATERIAL VEGETAL Y DISEÑO EXPERIMENTAL.....	40
3.2	DETERMINACIONES ANALÍTICAS .....	42
<b>4</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>49</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>56</b>
<b>6</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>57</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>TABLA 1.</b>	<b><i>Países productores de cítricos .....</i></b>	<b>8</b>
<b>TABLA 2.</b>	<b><i>Países exportadores de cítricos.....</i></b>	<b>9</b>
<b>TABLA 3.</b>	<b><i>Países importadores de cítricos .....</i></b>	<b>9</b>
<b>TABLA 4.</b>	<b><i>Uso de patrones en nuevas plantaciones de cítricos. 2012-17 21</i></b>	
<b>TABLA 5.</b>	<b><i>Composición nutricional de la naranja por cada 100g. ....</i></b>	<b>26</b>
<b>TABLA 6.</b>	<b><i>Calibres comerciales establecidos para la naranja.....</i></b>	<b>31</b>
<b>TABLA 7.</b>	<b><i>Fungicidas de síntesis utilizados en cítricos en la UE. ....</i></b>	<b>35</b>
<b>TABLA 8.</b>	<b><i>Tratamientos del ensayo .....</i></b>	<b>41</b>
<b>TABLA 9.</b>	<b><i>Resultados de las determinaciones analíticas.....</i></b>	<b>51</b>



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA 1.</b>	<b><i>Producción y superficie de cítricos de España 2010-2022....</i></b>	<b>10</b>
<b>FIGURA 2.</b>	<b><i>Producción cítrica nacional por CC.AA. ....</i></b>	<b>11</b>
<b>FIGURA 3.</b>	<b><i>Distribución geográfica de zonas productoras de cítricos ...</i></b>	<b>12</b>
<b>FIGURA 4.</b>	<b><i>Genealogía de los frutos cítricos cultivados .....</i></b>	<b>13</b>
<b>FIGURA 5.</b>	<b><i>Rutas de dispersión de los cítricos desde su origen .....</i></b>	<b>14</b>
<b>FIGURA 6.</b>	<b><i>Naranja antes de la cosecha.....</i></b>	<b>16</b>
<b>FIGURA 7.</b>	<b><i>Algunas variedades navel .....</i></b>	<b>18</b>
<b>FIGURA 8.</b>	<b><i>Algunas variedades comunes y sanguinas .....</i></b>	<b>20</b>
<b>FIGURA 9.</b>	<b><i>Fases de crecimiento del fruto cítrico .....</i></b>	<b>22</b>
<b>FIGURA 10.</b>	<b><i>Partes del fruto cítrico .....</i></b>	<b>24</b>
<b>FIGURA 11.</b>	<b><i>Calendario de recolección del naranja.....</i></b>	<b>28</b>
<b>FIGURA 12.</b>	<b><i>Diagrama de flujo del proceso de la naranja. ....</i></b>	<b>30</b>
<b>FIGURA 13.</b>	<b><i>Distintas enfermedades post-cosecha .....</i></b>	<b>34</b>
<b>FIGURA 14.</b>	<b><i>Triángulo de la enfermedad. ....</i></b>	<b>36</b>
<b>FIGURA 15.</b>	<b><i>Ejemplo de bloques por tratamiento .....</i></b>	<b>41</b>
<b>FIGURA 16.</b>	<b><i>Cromatógrafo de gases Shimadzu 14B y báscula Radwag WLC 2/AC.</i></b>	<b>43</b>
<b>FIGURA 17.</b>	<b><i>Espacio de color CIELab .....</i></b>	<b>44</b>
<b>FIGURA 18.</b>	<b><i>Colorímetro Minolta CRC400 y texturímetro StableMycrosystems TA-XT2i.....</i></b>	<b>45</b>
<b>FIGURA 19.</b>	<b><i>Refractómetro Hanna HI96811 y equipo Omnis Sample robot. 46</i></b>	<b>46</b>
<b>FIGURA 20.</b>	<b><i>Espectrofotómetro Shimadzu UV-1900 UV-VIS .....</i></b>	<b>48</b>
<b>FIGURA 21.</b>	<b><i>Contenido en fenoles y actividad antioxidante.....</i></b>	<b>56</b>
<b>FIGURA 22.</b>	<b><i>Resultados del control de pudriciones .....</i></b>	<b>57</b>

# 1 INTRODUCCIÓN

## 1.1 CONTEXTO ECONÓMICO DE LOS CÍTRICOS

Los cítricos son el cultivo con mayor producción a escala mundial, alcanzando en 2021 los 151.747 miles de toneladas producidas (FAOSTAT, 2021). Por orden de importancia, el más cultivado es la naranja (41%), seguido por la mandarina (39%), el limón (12%) y por último el pomelo (8%). Además, la producción mundial de cítricos está claramente liderada por China, seguida de Brasil, India, México y España (Tabla 1).

**TABLA 1. Principales países productores de cítricos.**

Fuente: FAO (2021). Miles de toneladas.

País	Naranjas	Mandarinas	Limón/Lima	Pomelos	Total
China	19%	62%	6%	13%	81428
Brasil	86%	6%	8%	0%	18882
India	74%	0%	26%	0%	13818
México	54%	5%	35%	5%	8483
España	54%	30%	15%	1%	6711
USA	64%	17%	13%	6%	6261
Turquía	33%	34%	29%	5%	5360
Egipto	69%	23%	8%	0%	4350
Irán	66%	16%	15%	3%	3237
Sudáfrica	50%	18%	20%	11%	3212
Total	41%	39%	12%	8%	151747

Respecto a la comercialización, los cítricos se distribuyen principalmente en fresco. España se posiciona como el máximo exportador de cítricos a nivel mundial, seguido por Sudáfrica, China, Turquía y Egipto (Tabla 2). En cambio, los mayores importadores son la Federación Rusa, China y Estados Unidos (Tabla 3). La naranja es el fruto cítrico más comercializado, con un 39%, seguida por mandarinas (33%), limón/lima (21%) y pomelos (7%) (Tabla 3).



**TABLA 2. Principales países exportadores de cítricos**

Fuente: FAO (2021). Miles de toneladas.

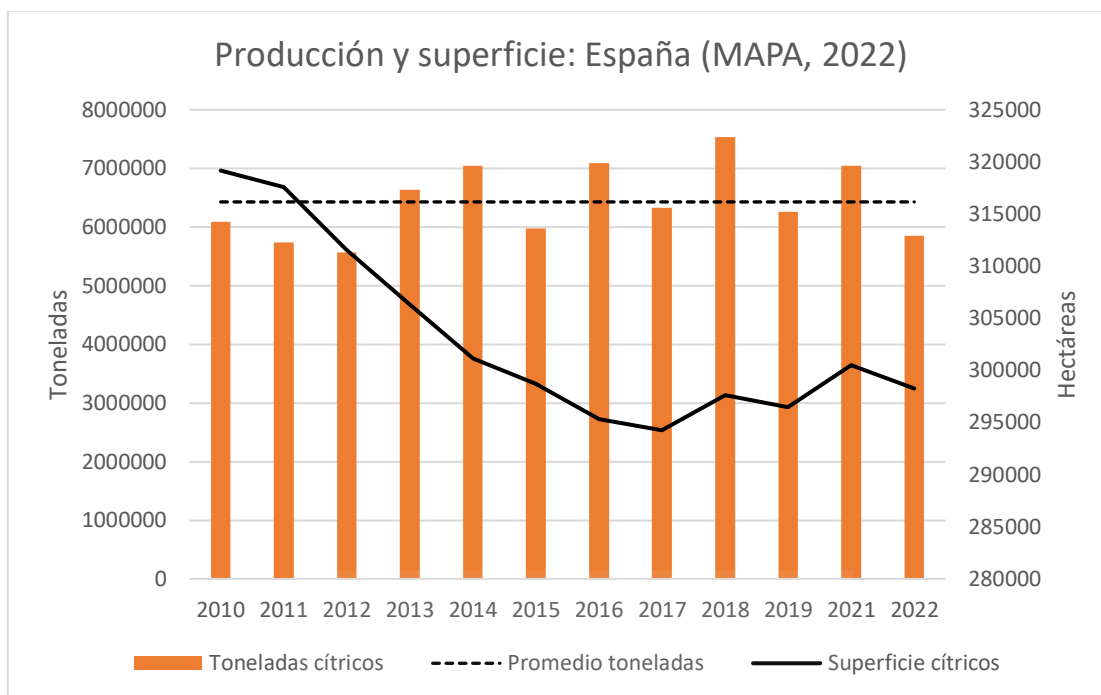
País	Naranjas	Mandarinas	Limón/Lima	Pomelos	Total
España	42%	36%	20%	2%	3549
Sudáfrica	50%	20%	19%	11%	2591
China	17%	65%	5%	13%	2146
Turquía	13%	48%	32%	8%	1949
Egipto	80%	11%	8%	1%	1594
Países Bajos	41%	14%	29%	16%	900
México	8%	0%	90%	2%	862
USA	69%	9%	16%	6%	678
Marruecos	16%	82%	1%	1%	596
Grecia	69%	28%	3%	0%	478
Total	39%	33%	21%	7%	15348

**TABLA 3. Principales países importadores de cítricos**

Fuente: FAO (2021). Miles de toneladas.

País	Naranjas	Mandarinas	Limón/Lima	Pomelos	Total
Rusia	26%	55%	15%	4%	1696
China	60%	13%	7%	20%	1583
USA	15%	26%	58%	2%	1541
Países Bajos	45%	16%	24%	15%	1383
Alemania	41%	34%	21%	4%	1182
Francia	44%	35%	16%	5%	1038
Reino Unido	35%	41%	21%	3%	702
Arabia Saudita	61%	16%	19%	4%	686
Iraq	30%	28%	40%	1%	534
Polonia	32%	32%	27%	9%	516
Total	38%	30%	24%	8%	10865

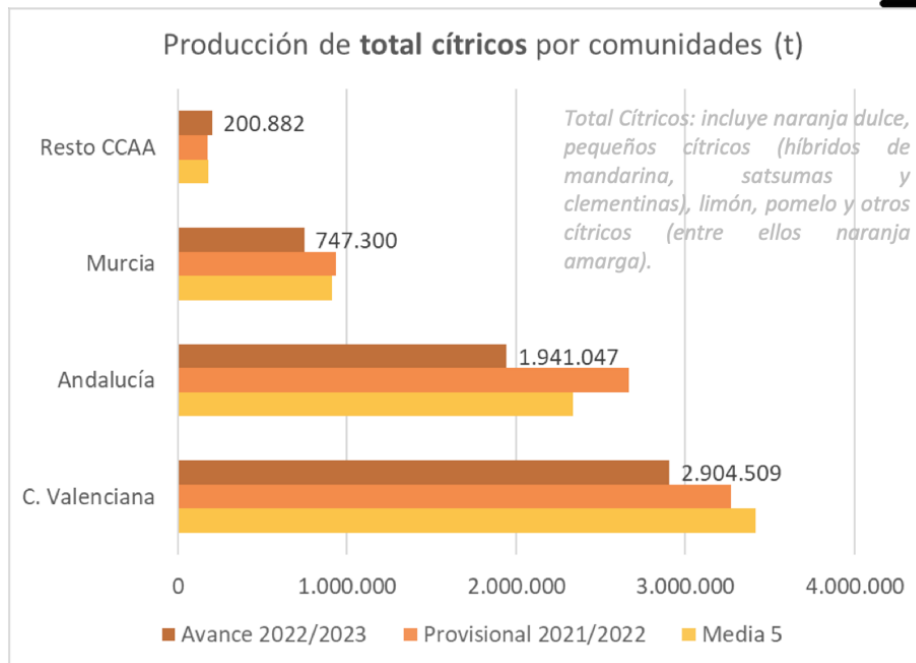
En España la producción de cítricos alcanzó los 5.974 miles de toneladas en 2022 (MAPA, 2022). Respecto a la tendencia que ha seguido el cultivo, la superficie cultivada de cítricos en España ha disminuido un 7% en los últimos 10 años (Figura 1). Sin embargo, el aumento en la producción ha compensado este descenso. La naranja, representa el cítrico con mayor producción en España (54%), seguida de la mandarina (30%), el limón (15%) y el pomelo (1%) (Figura 1)



**FIGURA 1. Producción y superficie de cítricos cultivados en España durante el periodo 2010-2022**

Fuente: MAPA (2022)

En España, el cultivo de cítricos se concentra principalmente en tres comunidades autónomas; la Comunidad Valenciana, Andalucía y Murcia (MAPA, 2022). En la Figura 2 se observa como durante la campaña 22-23, la producción de cítricos en la Comunidad Valenciana alcanzó los 2.904 miles de toneladas, Andalucía alcanzó los 1.941 miles de toneladas y Murcia 747 miles de toneladas aproximadamente. Además, también se muestra la disminución de volumen de la campaña 22-23 comparada con anteriores campañas. Respecto a las diferencias en producción observadas en la Figura 2, se debieron principalmente a abundantes lluvias y temperaturas inestables que alteraron la floración, cuajado y engorde del fruto. Esta situación ha provocado los menores rendimientos desde la campaña 12-13, siendo estos efectos especialmente acusados en Andalucía y la Comunidad Valenciana. (MAPA, 2023).

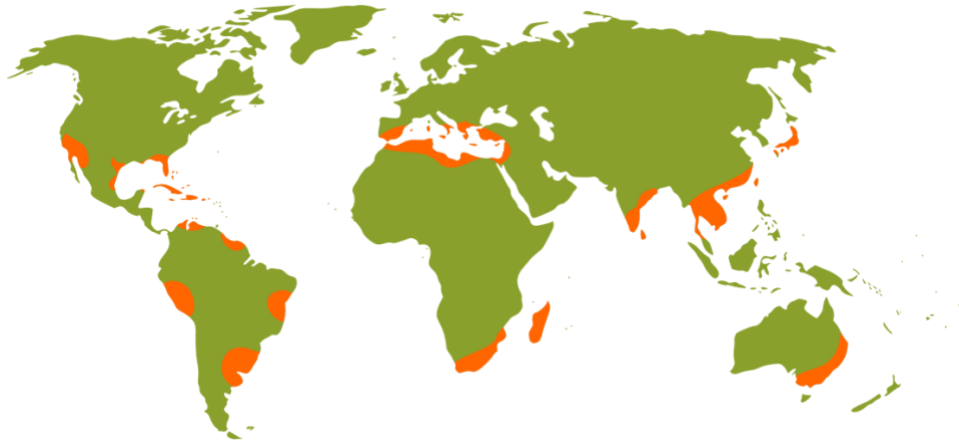


**FIGURA 2. Desglose de la producción de cítricos en España en las principales comunidades autónomas.**

Fuente: MAPA (2023)

## **1.2 DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA**

Los cítricos están distribuidos de forma mayoritaria entre los 40°N y 40°S de latitud, aunque se concentran en regiones subtropicales donde la temperatura es modulada por vientos marinos tal y como se observa en la Figura 3. Es en estas franjas subtropicales donde los cítricos llegan a adquirir los parámetros de calidad apropiados para su comercialización, al contrario que en zonas tropicales (Agustí, 2012). La variable climática que condiciona más su desarrollo y por lo tanto su distribución geográfica es la temperatura. Así, en regiones cercanas al ecuador, los cítricos florecen de manera escasa pero repetida, y en zonas subtropicales, los estados fenológicos están bien definidos y determinados por las estaciones (Deng, 2020).

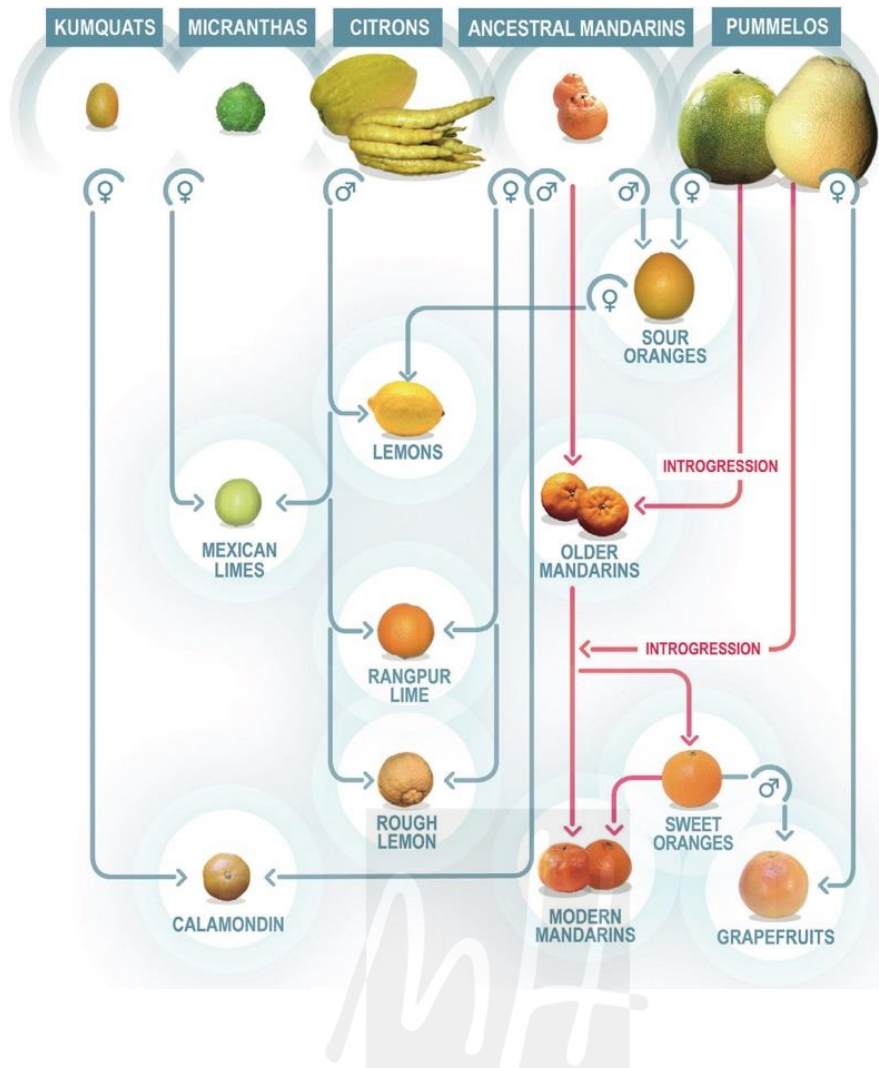


**FIGURA 3.** Distribución geográfica de las principales zonas productoras de cítricos.

Fuente: Weltenburger (1997)

### **1.3 ORIGEN DE LOS CÍTRICOS**

Se han formulado distintas hipótesis sobre el origen de los cítricos. En general, es aceptado que provienen de regiones tropicales y sub-tropicales del Sureste asiático y archipiélago malayo, desde donde se distribuyeron al resto de continentes (García-Lor y col., 2013). A partir del estudio de marcadores genéticos, se llegó a la conclusión de que las especies de cítricos actuales se formaron a partir de cinco especies primitivas: *Fortunella margarita*, *Citrus micrantha*, *Citrus medica*, *Citrus reticulata* y *Citrus 12inére* (Talon y col., 2020). En la Figura 4 las líneas azules muestran los cruces simples que dieron lugar a los híbridos actuales, y, por otro lado, las líneas rojas representan cruzamientos más complejos con múltiples generaciones o introgresiones.



**FIGURA 4. Árbol genealógico de los cítricos ancestrales y actuales.**

Fuente: Talón (2020)

Desde su origen en el Sureste asiático, los cítricos se distribuyeron siguiendo distintas rutas tal y como se representa en la Figura 5. Se cree que el debilitamiento de los monzones ocurrido a finales del Mioceno dio lugar a una migración adaptativa que provocó la dispersión de múltiples especies de animales y plantas. En el caso de los cítricos, se cree que desde su origen migraron al oeste hacia India y el sudoeste de China (*Citrus medica*), al sur hacia el archipiélago malayo (*Citrus maxima* y *Citrus micrantha*) y al este hacia el sudeste de China (*Citrus reticulata* y *Fortunella margarita*). La migración hacia el norte estaba impedida por el Himalaya. (Talón, 2020).

En cuanto a España, el cidro está presente desde el S VII, aunque fue Ibn al-Awan el primero que describe plantaciones en el litoral mediterráneo en el S XII. El naranjo amargo y el limonero llegaron de manos árabes en el S XI, a través

de África y procedentes de Arabia. Del naranjo dulce, se cree que lo introdujeron los genoveses hacia el 1400 y los portugueses en 1548, siendo estos últimos los que contribuyeron en mayor medida a su distribución en la península ibérica. El mandarino en cambio, llegó más tarde, en 1856 se inicia su cultivo importado a Castellón, procedente de Palermo, Génova y Niza. Finalmente, el pomelo fue introducido por la Estación Naranjera de Levante en 1910 en su variedad 'Marsh' procedente de Estados Unidos. (Zaragoza, 2007).



**FIGURA 5.** Esquema de la dispersión de los cítricos.  
Fuente: Talón (2020)

## **1.4 CLASIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN BOTÁNICA**

Las especies de los cítricos pertenecen a la familia de las *Rutaceas*, subfamilia *Aurantioideas*. Esta se encuentra en la división *Embriophyta Siphonogama*, subdivisión *Aingiospermae*, clase *Dicotyledonae*, subclase *Rosidae*, superorden *Rutanae*, orden *Rutales*. (Swingle, 1967).

El naranjo (Figura 6), es de porte recto y puede alcanzar alturas de 6 a 10 metros. El sistema radicular posee una raíz principal y pivotante que puede llegar a alcanzar 2 metros de profundidad. Las raíces secundarias se encuentran en su mayoría cerca de la superficie. El tallo crece tanto longitudinalmente como en grosor. La hoja es unifoliada y de nerviación reticulada. Los peciolo del naranjo son alados, aunque menos visibles que en otras especies de cítricos. El limbo es oblongo, verde oscuro en el haz y verde claro en el envés (Agustí, 2012). Los brotes son inicialmente verde pálido y tras su desarrollo toman color oscuro. Las flores surgen tras el reposo de invierno o tras un periodo de sequía. Surgen de las axilas de las hojas, son hermafroditas, blancas, presentándose aisladas o agrupadas en racimo. Están formadas por los sépalos unidos por su base, y sobre estos la corola, formada por cinco pétalos ligeramente solapados y curvados hacia el interior de la flor. El fruto es un hesperidio, de tamaño, formas y color variable según variedad, aunque generalmente esférico y de color anaranjado (Agustí, 2012).



**FIGURA 6.** Típico naranjo antes de la cosecha

Fuente: elaboración propia.

## **1.5 GRUPOS VARIETALES**

La dispersión geográfica del naranjo y la hibridación dirigida por el ser humano desde su origen ha dado como resultado un amplio rango de variedades disponibles. Además, las preferencias locales en distintas zonas productoras han determinado el perfil de las variedades comerciales actuales. Las variedades de naranjo han sido tradicionalmente divididas en tres grupos dependiendo de las características distintivas principales.

### **1.5.1 NAVEL**

Se distinguen por la presencia de un segundo verticilo carpelar que da lugar a un segundo fruto más pequeño, incluido en el fruto principal. El aspecto de este segundo fruto es el de un ombligo, dándole nombre al grupo. Las variedades de este grupo no tienen semillas, ya que los granos de polen o el saco embrionario degeneran. Los frutos son de gran calidad, siendo las naranjas de este grupo las





#### **FIGURA 7. Variedades de naranja Navel**

A: 'Powell', B: 'Navelate', C: 'Navelina', D: 'Cambria', E: 'Washington navel' F: 'Cara-cara'.

Fuente: IVIA, fichas de variedades vegetales del naranjo

#### **1.5.1 SANGUINAS**

Caracterizadas por la presencia de antocianinas en la pulpa y en ocasiones también en la corteza. Los naranjos de este grupo han sido cultivados en la cuenca mediterránea desde principios del siglo XIX. En la actualidad son principalmente cultivadas en Italia, y desde aquí, las variedades italianas han sido distribuidas a otras zonas. Las principales variedades italianas son 'Sanguinello', 'Moro' o 'Tarocco'. 'Moro' es una variedad especialmente apreciada por su intensa pigmentación tanto de la pulpa como de la corteza. 'Tarocco' es la variedad que tiene más importancia económica, principalmente cultivada en Sicilia y de aquí se ha extendido a otras zonas como Sichuan (China), California, Sudáfrica o Australia. La pulpa y la piel son bicolors y suele consumirse en fresco. La selección según pigmentación interna de 'Tarocco' ha dado lugar a diferentes variedades como 'Tarocco TDV', 'Tarocco Ippolito' o 'Tarocco Rosso' (Caruso et al., 2016). En España, su cultivo se encuentra en recesión, sin alcanzar un 1% de la producción total de naranja. Pese a que la variedad originaria de España es 'Sanguinelli', distintas selecciones de 'Tarocco' han ido sustituyéndola progresivamente (Villalba, 2001) (Figura 8).

#### **1.5.1 COMUNES**

Son un grupo diverso de naranjas dulces con un amplio rango de rasgos distintivos (Figura 8). Han sido conocidas también como el grupo de las 'Blancas' en España o 'Biondo' en Italia, para diferenciarlas de las sanguinas y las navel. Muchas variedades de este grupo contienen semillas, y conforme el contenido en semillas ha ido convirtiéndose en un rasgo poco deseable para el consumo en fresco, especialmente en mercados europeos, la producción de estas variedades ha ido disminuyendo en favor de variedades sin semilla, especialmente del grupo navel. Sin embargo, las variedades con semilla siguen

siendo de importancia en la industria del zumo. 'Valencia Late' es la variedad de este grupo más ampliamente producida en el mundo. Actualmente, se cree que la variedad 'Valencia Late', la variedad original de este grupo, se originó en Portugal como una mutación de la variedad 'Selecta' algo más temprana. La variedad fue exportada desde las islas Azores y exportada a California en 1876 donde se la llamó 'Rivers Late'. El consejo de un visitante español que la comparó con una naranja española de madurez tardía provocó el cambio de nombre a 'Valencia Late'. En 1963, una variedad portuguesa de Beja, 'Don Joao' fue exportada a California, y no se encontraron diferencias entre esta y 'Valencia Late'.

En la actualidad, numerosas selecciones de 'Valencia Late' son cultivadas en distintas zonas del mundo, algunas de ellas solo tienen importancia local. Otras variedades de importancia, consideradas selecciones de 'Valencia Late' son 'Delta Seedless' o 'Valencia Midnight' ambas de origen sudafricano. La variedad 'Salustiana' fue descubierta como una mutación de la variedad 'Comuna' en los años 1950 en un convento de Valencia (España). Fue la segunda variedad en importancia en España tras 'Valencia Late' aunque ha ido perdiendo importancia.

En el pasado, las comunes fueron un grupo varietal de gran importancia para la citricultura española debido a su aptitud para la fabricación de zumos. En la actualidad, solo las variedades con calidad suficiente para su venta en fresco han mantenido su importancia. Este grupo varietal se caracteriza por producir semillas, tener una acidez menor al grupo navel, y presentar alternancia entre cosechas. (Agustí, 2012., Villalba, 2021).



**FIGURA 8. Variedades de naranjas comunes y sanguinas**

A: 'Midnight', B: 'Valencia Late', C: 'Salustiana', D: 'Delta seedless', E: 'Sanguinelli', F: 'Tarocco Rosso' Fuente: IVIA, fichas de variedades vegetales del naranjo

## **1.6 PATRONES**

En la actualidad, la propagación de los cítricos destinados a producción se realiza con portainjerto, ya que la entrada en producción es más rápida que si se iniciara el cultivo desde la semilla. La propagación de cítricos mediante injerto asegura disponer de poblaciones con fenotipos uniformes (Bowman, 2020). Es

importante considerar la importancia de la compatibilidad entre el patrón y la variedad injertada, ya que uniones incompatibles pueden comprometer el desarrollo de la variedad. Tal y como se observa en la Tabla 4, los principales países productores optan por distintos patrones dependiendo de factores ambientales, productivos, agronómicos, comerciales o incluso sanitarios.

**TABLA 4. Uso de patrones en nuevas plantaciones de cítricos. 2012-17**  
Indicadores mundiales y de principales países productores. Fuente: Bowman (2020)

País	Mundo	España	Turquia	Marruecos	Egipto	Israel	China	Australia	Sudáfrica	California	Florida	Mexico	Brasil
Carrizo	19%	21%	16%	33%	2%	30%	0%	34%	47%	30%	0%	3%	6%
Naranja Amargo	17%	1%	48%	1%	35%	40%	5%	0%	0%	1%	15%	63%	0%
P Trifoliata	14%	0%	0%	0%	0%	0%	80%	34%	0%	10%	0%	1%	0%
Volkameriana	10%	1%	11%	15%	61%	30%	0%	0%	2%	9%	2%	19%	0%
Rangpur	8%	0%	0%	0%	0%	0%	5%	0%	0%	0%	0%	0%	80%
C35	6%	7%	25%	1%	0%	0%	0%	10%	10%	24%	0%	3%	0%
Macrophylla	6%	25%	0%	50%	2%	0%	0%	0%	0%	10%	0%	1%	0%
Swingle	5%	15%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	14%	7%	16%	7%	8%
Rough lemon	5%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	15%	4%	0%	0%	0%
FA5	2%	29%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
X639	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	7%	1%	15%	0%	0%
Kuharske	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%	20%	0%	0%
Benton	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	15%	0%	0%	0%	3%	0%
Cleopatra	1%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	6%	0%	4%	5%	0%	0%
Ziyang	1%	0%	0%	0%	0%	0%	10%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
US802	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	8%	0%	0%
US897	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	7%	0%	0%
US942	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	7%	0%	0%
Sunki	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	6%
US812	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	5%	0%	0%

- *Carrizo* genera frutos de gran calidad interna de tamaño medio a grande. Es vigoroso y desarrolla un árbol de tamaño medio a grande. Es algo sensible a clorosis inducida por suelos alcalinos. Es el más utilizado en España. (Lee y col., 2009).
- *Forner-Alcaide 5* fue desarrollado en Moncada (Valencia) por J. Forner en 1978. Es resistente al virus de la Tristeza de los cítricos (CTV), nemátodos y *Phytophthora*, además de ser tolerante a salinidad o asfixia radicular. Produce árboles más pequeños que carrizo, pero mayores producciones. (Forner y col., 2003, Forner-Giner y col., 2011).

- *Citrus macrophylla* es principalmente usado como portainjerto de limonero produciendo árboles precoces y frutos de buena calidad. Crece vigorosamente durante los primeros años, pero disminuye su crecimiento más adelante debido a elevadas cargas frutales (Castle y col., 1993).
- C35 es un patrón semienanizante y tolerante a *Phytophthora*, nemátodos y CTV, pero sensible a la exocortis vírica (Lee et al., 2009). Cleopatra da lugar a árboles de poca producción hasta el año octavo o décimo de producción. Produce árboles muy grandes con una gran calidad interna. (Castle y col., 2011).

## 1.7 DESARROLLO Y MADURACIÓN DE LA NARANJA

El desarrollo de los frutos cítricos consta de tres fases (Figura 9) caracterizadas por la división celular (fase 1), crecimiento celular (fase 2) y maduración (fase 3) (Bain, 1958). La duración total del proceso depende de las condiciones climáticas, variedad y especie cítrico. (Davis, 1999).

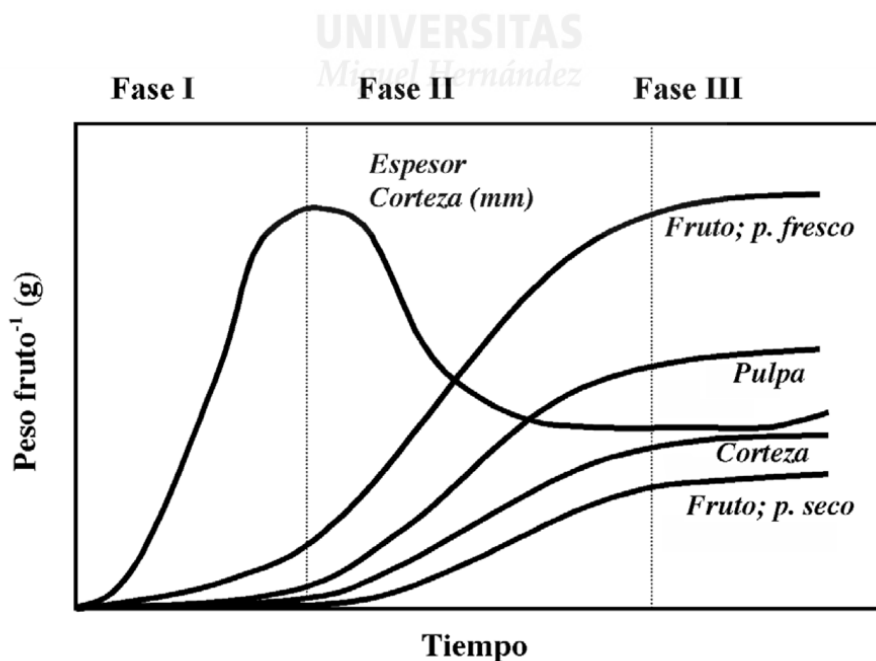


FIGURA 9. Fases de crecimiento del fruto en los cítricos.

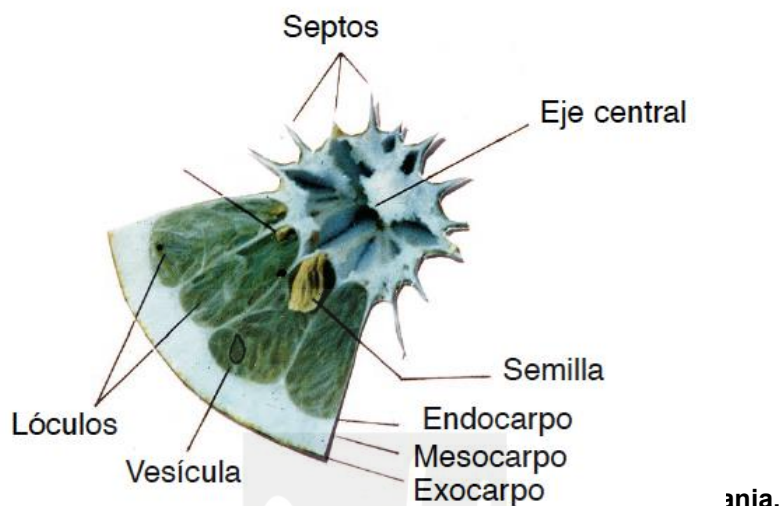
Fuente: Bain (1958)

La Fase 1 va desde la antesis hasta el final de la caída fisiológica de los frutos, y se caracteriza por un rápido crecimiento del fruto provocado por la división celular, con el consiguiente aumento del número de células de todos sus tejidos en desarrollo, excepto del eje central. Durante el primer periodo, el aumento en el tamaño es debido, principalmente, al crecimiento de la corteza. El exocarpo aumenta por la división de sus células. Por otro, hay un aumento de volumen en el m'socarpo por engrosamiento de sus paredes celulares y un aumento del tejido vascular. Además de este crecimiento de la corteza, al principio de este periodo hay un aumento en el volumen del endocarpo, debido principalmente a la división celular en los septos y en las paredes tangenciales de los lóculos. Asimismo, de las células situadas en la cara más interna de las paredes tangenciales de los lóculos se forman los primordios de las vesículas de zumo. Estas crecen hacia el interior de los lóculos por la acción de un meristemo apical, y al final de este periodo los ocupan por completo (Agustí, 2003).

La Fase 2 se prolonga durante varios meses, desde el final de la caída fisiológica del fruto hasta poco antes de su cambio de color. Su duración es, variable según la variedad alargándose entre 2 y 6 meses. Se caracteriza por una expansión marcada de los tejidos, acompañada por un agrandamiento celular y la formación de grandes espacios intercelulares en el mesocarpo que le confieren una consistencia esponjosa, con la ausencia de división celular en casi todos los tejidos excepto los del exocarpo. (Tadeo y col., 2008). En esta fase el aumento de tamaño se debe principalmente al desarrollo de los lóculos, en cuyo interior las vesículas de zumo llegan a alcanzar su máxima longitud y el contenido en zumo de sus células aumenta. En el naranjo dulce 'Valencia' la corteza alcanza su máximo espesor durante las cuatro primeras semanas de este periodo, llegando a ser más delgada al final de las siguientes catorce semanas, a causa del crecimiento de la pulpa (Bain, 1958).

Por última, la Fase 3 se caracteriza por una reducida tasa de crecimiento mientras el fruto se mantiene en el árbol y comprende todos los cambios asociados a la maduración, como la coloración, la pérdida de firmeza, el aumento de azúcares solubles, el descenso de almidón o la reducción de acidez libre. La pigmentación de la corteza es consecuencia de la degradación de las clorofilas

del flavedo y de la síntesis de carotenoides. Además, ambos procesos coinciden normalmente con la maduración interna del fruto. El contenido en sólidos solubles, sobre todo azúcares y compuestos nitrogenados, aumenta, mientras que los ácidos libres disminuyen progresivamente.



Fuente: Agustí (2013)

## **1.8 COMPOSICIÓN DE LA NARANJA**

La naranja contiene una amplia variedad de compuestos químicos, algunos de ellos beneficiosos para la salud (Tabla 5). Por ejemplo, la naranja es una excelente fuente de ácido ascórbico (vitamina C), un poderoso antioxidante. Otros fitoquímicos como los flavonoides o los carotenoides también están relacionados con importantes beneficios para la salud humana. (Gang M., 2020).

### **- HIDRATOS DE CARBONO:**

- Monosacáridos: como las hexosas D-glucosa y D-fructosa.
- Oligosacáridos: como la sacarosa
- Polisacáridos: como la celulosa, hemicelulosa o las pectinas.

(Lidón A., 2010)



- **ÁCIDOS ORGÁNICOS:**

El ácido más importante es el ácido cítrico seguido por el málico y el oxálico. Mientras que el ácido cítrico se concentra en el endocarpo, es la corteza la que acumula ácido málico, oxálico y quínico. (Lidón A., 2003)

- **COMPUESTOS NITROGENADOS:**

- Aminoácidos: la concentración en el zumo es baja. Son esenciales para el crecimiento y desarrollo de los frutos.
- Aminas: compuestos nitrogenados en los que uno o más átomos de hidrógeno son remplazados por grupos alquilo o arilo. (Lidón A., 2010).

- **VITAMINAS:**

La más abundante es la vitamina C (ácido ascórbico), aunque también están presentes las vitaminas B6, tiamina, riboflavina y ácido pantoténico. (Lidón A., 2010)

- **MINERALES:**

Sustancias minerales que llegan a representar el 3% del peso seco total del fruto. En orden de importancia los más abundantes son el potasio, calcio, magnesio, hierro, cobre o fósforo. (Lidón A., 2010)

- **LÍPIDOS:**

Los cítricos tienen bajos contenidos en lípidos. El 50% de los lípidos presentes en las partes comestibles son fosfolípidos, el resto esteroides, ácidos grasos, triglicéridos y glicolípidos. Sin embargo, la mayor concentración de lípidos se encuentra tanto en las semillas como en el flavedo (glándulas de aceite), conteniendo ácidos grasos como el palmítico, esteárico, oléico o linoléico. (Lidón A., 2003).

- **COMPUESTOS FENÓLICOS:**

Destacan en los cítricos los flavonoides como el ácido salicílico, p-cumárico, caféico, ferúlico o sináptico, generalmente enlazados a glucosa. Entre las flavononas destaca la hesperidina y la eriocitrina.

**TABLA 5. Composición nutricional de la naranja por cada 100 g.**  
Fuente: USDA, (2023).

<b>NUTRIENTES</b>		
Agua	86,7	g
Energía	52	Kcal
Proteínas	0,91	g
Lípidos	0,15	g
Azúcares	8,57	g
Fibra	2	g
<b>MINERALES</b>		
Potasio	166	mg
Calcio	43	mg
Fósforo	23	mg
Magnesio	10,7	mg
Sodio	9	mg
Hierro	0,33	mg
Zinc	0,11	mg
Cobre	0,064	mg
Manganeso	0,029	mg
<b>VITAMINAS</b>		
Vitamina C	59,1	mg
Tiamina	0,068	mg
Riboflavina	0,051	mg
Niacina	0,425	mg
Vitamina B5	0,261	mg
Vitamina B6	0,079	mg

Miguel Hernández

## **1.9 LA POST-COSECHA DE LOS CÍTRICOS**

### **1.9.1 RECOLECCIÓN**

La recolección de la naranja se realiza generalmente a mano, utilizando tijeras diseñadas especialmente para esta tarea. El fruto se corta por el pedúnculo evitando dejarlo largo para que no producir heridas en otros frutos durante el procesado. Durante la cosecha y el subsecuente manejo de la fruta, el objetivo debe ser no comprometer la calidad del producto. Antes de comenzar la recolección, la primera decisión crítica debe ser, cuándo hacerlo. El reglamento 543/2011 de la Comisión Europea establece la normativa mínima para la comercialización de los cítricos con los índices de madurez mínimos para la naranja.



**FIGURA 11. Calendario de recolección de la naranja según la variedad.**

Fuente: Pardo y Buj, IVIA (2013)

### **1.9.2 DESVERDIZADO**

Antes del comienzo de la maduración, los frutos cítricos son de color verde. Conforme se inicia el proceso de maduración se comienzan a acumular azúcares en la corteza del fruto, lo que provoca la hidrólisis de conjugados de ácido indolacético. Este ácido es responsable de la síntesis de etileno. Tras producirse etileno, se produce una desaparición de cloroplastos y una degradación de las clorofilas a y b. Conforme se degrada la clorofila, aumenta el contenido en carotenoides de la piel debido, a la sustitución de cloroplastos por cromoplastos. La acumulación de azúcares es el principal factor regulador de la coloración del fruto y de esta metamorfosis de los plastidios. Además, los cítricos necesitan temperaturas de menos de 12°C para que estas vías de degradación de clorofilas y síntesis de carotenoides se activen (Alquezar et al., 2008 y Carmona et al., 2012). Sin embargo, en España, se alcanzan temperaturas medias mínimas menores a 12°C solo a partir de noviembre. Por lo tanto, pese a que para algunas variedades tempranas pueda alcanzarse la madurez interna de los frutos, no alcanzan la coloración mínima exigida por los reglamentos de comercialización ni cumplen con las expectativas de los consumidores en cuanto a su color.

De esta manera es necesario el desverdizado artificial, que permite degradar las clorofilas y obtener así naranjas de la calidad y con apariencia deseada por los consumidores. Esta técnica consiste en la aplicación de etileno en cámaras controladas. El proceso permite adelantar la campaña en variedades tempranas con la consecuente ganancia económica. Además, el desverdizado va a depender de distintas variables como la temperatura, humedad y concentración de etileno en la cámara, así como de la variedad y del color con el que comience el proceso. Las concentraciones de etileno más comúnmente usadas varían entre 1 y 5 ppm, temperaturas de 20°C a 22°C y humedad relativa de 90%. (Porat, 2008).

Con el fin de evaluar en qué punto del proceso de coloración de la corteza se encuentran los frutos, J. Cuesta (1981) desarrolló el índice de color de los cítricos ICC. Este índice, se calcula empleando los parámetros de Hunter (L, a, b) según la fórmula  $IC = 1000 \times a / L \times b$  en donde L mide la luminosidad. A la variación del verde al rojo y b la variación del azul al amarillo. El ICC varía entre -20 y 20 aproximadamente. Estos valores pueden ser utilizados para optimizar el proceso de desverdizado. Por ejemplo, una naranja 'Navelina' cosechada con ICC -1, requerirá 20°C, 5 ppm de etileno, 95% de HR y 60 horas para alcanzar la coloración definitiva.

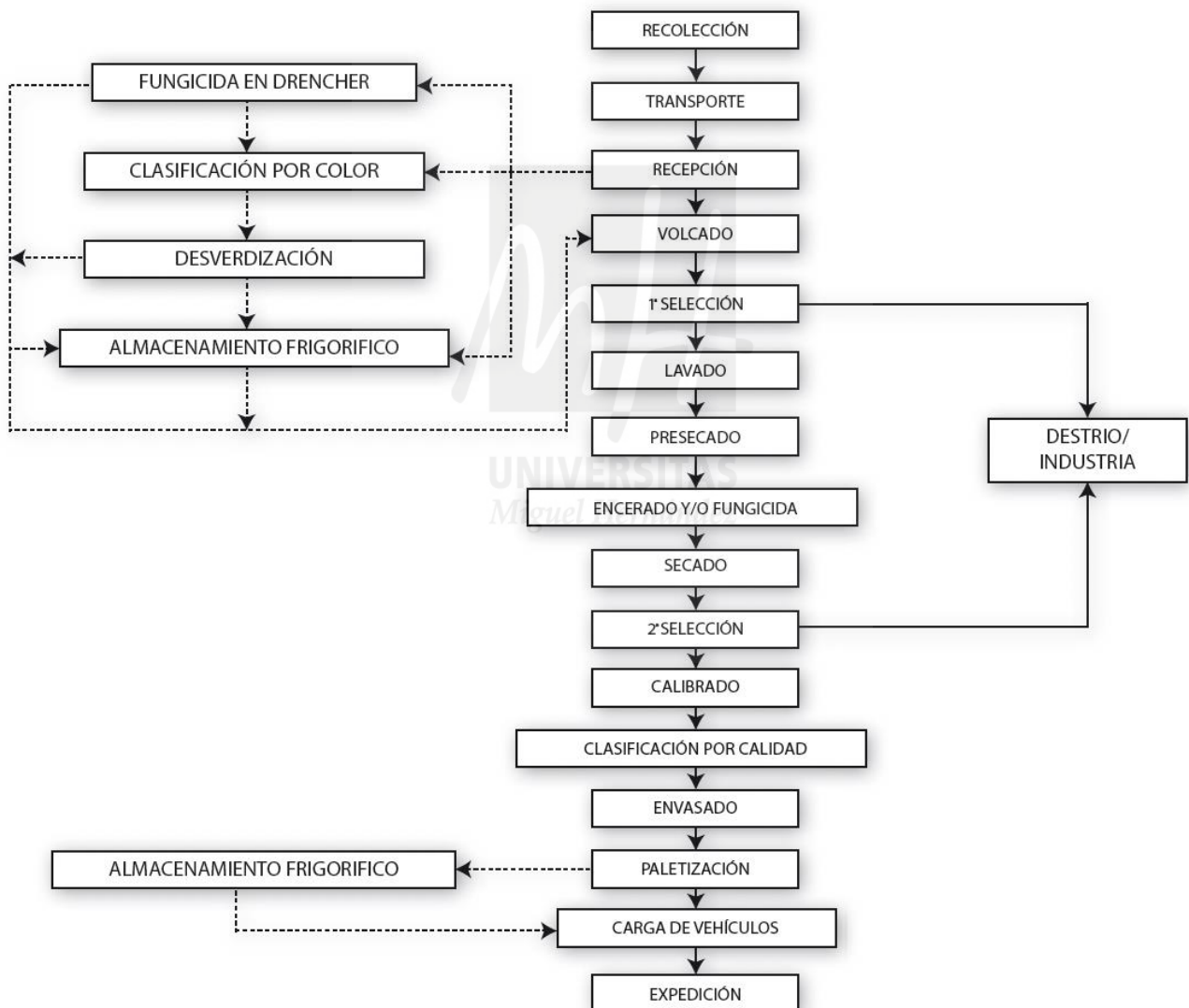
Es fundamental que el proceso sea adecuado ya que el reglamento (CE) 543/2001 establece que el grado de coloración deberá ser tal que, los cítricos alcancen en el lugar de destino el color típico de la variedad a la que pertenezcan. Así, para el caso de la naranja, se admitirán frutos de coloración verde claro siempre que ésta no sobrepase un quinto de la superficie total del fruto.

El desverdizado puede llegar a provocar quemaduras y lesiones en la piel en caso de utilizar parámetros inadecuados de desverdizado. El proceso también puede incrementar la respiración o la deshidratación o caída del cáliz. (Passaro-Carvalho et al., 2012).

### **1.9.3 PROCESADO**

El procesado de los frutos del naranjo es similar en la mayoría de los países. (Figura 12). Dentro de las primeras 24 horas desde su cosecha, la fruta es drenchada para eliminar polvo y residuos, así como esporas. El proceso deja residuos del fungicida usado que tiene efectos durante el almacenamiento. El desverdizado, si es necesario, se dará en esta fase, antes del volcado a línea de procesado. Tras el volcado, se realiza un lavado ya sea por inmersión o mecánico, con fungicida y detergentes neutros. A continuación, un enjuagado a través de boquillas y tras esto, la fruta es secada con aire caliente para el encerado.

El encerado trata de evitar pérdidas de agua debidas a la respiración que, al estar el fruto cosechado, no son repuestas y así alargar su vida comercial. También da un aspecto brillante y atractivo al consumidor y funciona como portador de fungicidas en caso de que la cera sea aplicada con ellos (Hagenmaier, 2002; Petracek et al., 2007). En general, las ceras usadas son sólidos como el Shellac, el polietileno, la carnauba o la cera de abeja. Las aplicaciones se realizan a partir de boquillas instaladas en cepillos rotatorios (Hagenmaier, 1993).



**FIGURA 12. Diagrama de flujo del proceso de producción de la naranja.**

Fuente: Salvador y col (2012).

Tras el encerado, se procede a la clasificación comercial de los frutos. Normalmente según su diámetro y su color. El proceso lo realizan calibradores eléctricos ópticos, capaces de descartar fruta por otros parámetros como defectos en la corteza o la densidad de los frutos. En esta fase es importante recordar que conforme al Reglamento (CE) 543/2001, los frutos cítricos, para ser comercializados, deberán presentarse, enteros, exentos de heridas y magulladuras de importancia. Sanos, quedando excluidos aquellos que presenten podredumbres, limpios, exentos de señales de desecación interna, o de daños producidos por bajas temperaturas o heladas. Respecto al tamaño, el Reglamento (CE) 543/2001 establece los siguientes calibres para la naranja.

**TABLA 6. Calibres comerciales establecidos para la naranja.**  
Fuente: Reglamento (CE) 543/2001 (2001)

<b>Calibre</b>	<b>Milímetros</b>
0	92-110
1	87-100
2	84-96
3	81-92
4	77-88
5	73-84
6	70-80
7	67-76
8	64-73
9	62-70
10	60-68
11	58-66
12	56-63
13	53-60

El Reglamento (CE) 543/2001 establece las siguientes categorías de cara a la comercialización:

- Extra: frutos de calidad superior y con aspecto exterior y características de desarrollo propios de la variedad a la que pertenezcan. Exentos de defectos, aunque se admitan ligerísimas alteraciones superficiales que no afecten al aspecto, calidad, conservación o presentación en el envase.
- Categoría I: frutos de buena calidad y características propias de la variedad a la que pertenezcan. Pueden admitirse defectos leves que no afecten al aspecto general del producto, conservación o presentación en el envase tales como ligeras malformaciones, defectos de coloración, ligeros defectos en la epidermis o cicatrizados de origen mecánico.
- Categoría II: recoge frutos que no pueden clasificarse en categorías superiores pero que cumplen los requisitos mínimos de comercialización establecidos antes. Siempre que cumplan los requisitos mínimos, se admitirán en esta clase malformaciones, defectos de coloración, corteza rugosa, alteraciones epidérmicas o cicatrizados de origen mecánico y en el caso de las naranjas, también un ligero desprendimiento parcial del pericarpio.

UNIVERSITAS  
Miguel Hernández

De acuerdo con esta clasificación de calibres y categorías, tras el calibrado óptico los frutos pueden pasar por una inspección visual para retirar frutos que no pertenezcan a esa categoría y finalmente se procederá a un envasado y paletizado.

### **1.9.1 CONSERVACIÓN**

Tras la cosecha, los frutos iniciarán su proceso de senescencia. Por lo tanto, es necesario alargar este proceso lo máximo posible, aumentando la vida útil total del producto para evitar pérdidas de calidad y que repercutan en importantes pérdidas económicas.

De esta manera, la conservación en cámara de frío previo al transporte y distribución contribuye en gran medida a reducir la transpiración y retrasar la



senescencia (Lado y col., 2015). También reduce la proliferación de microorganismos causantes de enfermedades (Schreuder y col., 2018). Así, se considera que las mejores temperaturas de conservación se sitúan entre los 3°C y 6°C para naranja y mandarina, y entre 8°C y 12°C para pomelo y limón. (Ladaniya, 2008).

## **1.10 CONTROL DE ENFERMEDADES POST-COSECHA**

### **1.10.1 PRINCIPALES HONGOS FITOPATÓGENOS**

Las pérdidas debidas a patologías post-cosecha constituyen uno de los principales problemas del sector. La mayoría de éstas se deben a enfermedades producidas por hongos fitopatógenos que provocan distintos tipos de podredumbres (Figura 13). Las infecciones provocadas por estos hongos pueden producirse antes, durante o tras la cosecha. Así, se diferencian patógenos latentes (quiescentes) cuya infección ocurre antes de la recolección, o patógenos de herida que provocan infecciones durante o tras la recolección.

Los más comunes son las infecciones provocadas por patógenos de herida como *Penicillium digitatum* y *Penicillium italicum*, los cuales provocan las podredumbres verde y azul en los cítricos. Estos agentes infecciosos llegan a suponer el 80% de las pérdidas por podrido. Las condiciones ambientales resultan en este caso fundamentales para incrementar tanto la susceptibilidad de los frutos huésped como la virulencia de los hongos en la producción de esporas. A temperaturas óptimas de 20°C-25°C, la dispersión de estos hongos puede ser muy rápida. Durante la conservación refrigerada, el proceso es más lento, pero la propagación también puede ocurrir ya que ambos son capaces de crecer a temperaturas inferiores a los 5°C. A temperatura ambiente, *P. digitatum* se desarrolla más rápidamente que *P. italicum*. En cambio, durante la conservación refrigerada es al revés, ya que *P. italicum* está más adaptado a desarrollarse a temperaturas inferiores a 10°C. (Palou, 2014).

El tercer patógeno en cítricos, con mayor relevancia es *Geotrichum citri-aurantii*, responsable de la podredumbre ácida. Tras la retirada definitiva en la UE de la guazatina en 2011 y del propiconazol en 2019, no se dispone de fungicidas post-cosecha eficaces para el control de esta enfermedad (Figura 13).



**FIGURA 13. Enfermedades fúngicas post-cosecha**

A: podredumbres verde y azul. B: podredumbre amarga. C: colonias de *Penicillium digitatum* e *italicum*. D: Podredumbre negra. E: podredumbre ácida. I: podredumbre gris. J: podredumbre marrón. Fuente: Zacarías (2020)

### **1.10.2 ESTRATEGIAS CONVENCIONALES DE CONTROL**

En la mayoría de los casos, las pérdidas económicas debidas a este conjunto de agentes infecciosos se reducen con el uso de fungicidas de síntesis autorizados según el reglamento (CE) 1007/2009. Estos son el imazalil, fosetil-Al, ortofenilfenol, pirimetanil, tiabendazol y fludioxonil (Tabla 7). Su aplicación puede realizarse mediante drencher en la recepción en almacén, o durante el proceso de confección en línea mediante balsas o duchas. Algunos pueden utilizarse

mezclados con cera. El imazalil destaca especialmente por su protección ante podredumbres verdes y azules debido a su capacidad antiesporulante. El uso de estos fungicidas tiene acción tanto preventiva como curativa (Zacarías, 2020).

Pese a que tienen alta efectividad en el control de podredumbres, también tienen inconvenientes. La Unión Europea en el Reglamento (CE) 1107/2009, establece límites máximos de residuos (LMR) que no pueden ser superados (Tabla 7), por lo que su uso es limitado, y en ocasiones las cadenas de supermercados establecen límites aún más restrictivos a sus proveedores. A parte, los consumidores están cada vez más concienciados en contra del uso de fungicidas de síntesis y la demanda de productos ecológicos va en aumento. También es importante mencionar que su uso reiterado e intensivo puede provocar la generación de cepas resistentes, lo que reduce la efectividad de los tratamientos.

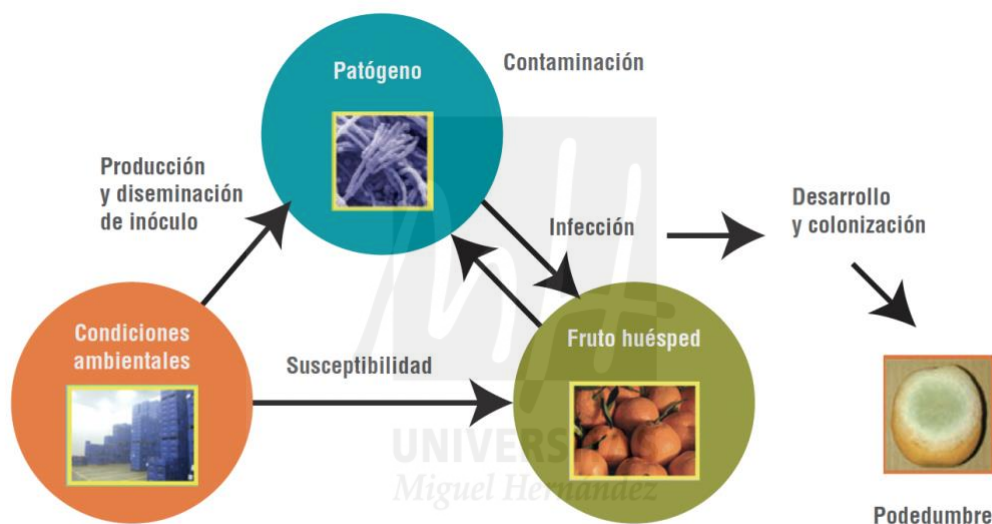
**TABLA 7. Fungicidas de síntesis utilizados en cítricos en la UE.**  
Tres de ellos recientemente prohibidos. LMR's para naranja.  
Fuente: elaboración propia.

Sustancia activa	EU LMR (ppm)	Caducidad
Imazalil	4	31/12/24
Propiconazol	0,01	No aprobado
Fosetyl-Al	75	15/3/25
Ortofenilfenol	10	31/12/23
Procloraz	0,03	No aprobado
Pirimetanil	8	15/3/25
Metiltiofanato	6	No aprobado
Tiabendazol	7	31/3/32
Fludioxonil	10	31/10/23

### **1.10.3 ESTRATEGIAS ALTERNATIVAS PARA EL CONTROL DE ENFERMEDADES POST-COSECHA**

De esta manera, la situación actual establece la necesidad de alternativas para la sustitución de los fungicidas de síntesis para el control de enfermedades post-cosecha en cítricos. La dificultad se encuentra en que, al ser alternativas menos contaminantes, son también menos efectivas o con mayor actividad fungistática que fungicida. La estrategia en el desarrollo de alternativas sostenibles 'sin

residuos' se ha denominado Control Integrado No Contaminante de Enfermedades Post-cosecha (CINCEP). Esta estrategia dirige su atención a las variables que intervienen en el triángulo del proceso de infección durante las fases pre-cosecha, cosecha y post-cosecha (Figura 14), controlando todos los factores que pueden modificar la capacidad de los agentes patógenos para generar infecciones, y la susceptibilidad del cultivo a ser infectado. Sin embargo, los resultados de numerosas investigaciones indican que la eficacia de los tratamientos alternativos no contaminantes es inferior a las de los fungicidas convencionales por lo que actualmente no pueden considerarse como un sustituto en solitario (Palou, 2009).



**FIGURA 14. Triángulo del proceso de infección en cítricos.**

Fuente: Palou (2020)

De esta manera la estrategia CINCEP incluiría una reducción de la contaminación fúngica en pre-cosecha a través de prácticas culturales como la eliminación de material vegetal con signos de pudrición que pueda suponer inóculo de agentes patógenos, podas de saneamiento y realizar la recolección con mucho cuidado y en el momento adecuado, evitando las lluvias o el rocío de las mañanas (Zacarías, 2020).

En post-cosecha, se debe intentar reducir la transmisión de esporas del campo a la central citrícola. Así, cobra gran importancia la higienización de la central, equipo, embalajes, cámaras, etc. De entre los posibles métodos que ofrece la estrategia CINCEP se encuentran los físicos, biológicos o químicos.

Los métodos físicos incluyen el curado, el uso de agua caliente o la irradiación, todos con actividad fungicida. El curado consiste en exponer los frutos a 2 o 3 días de aire a 30°C y HR 90%. Es muy eficaz contra *Penicilium* pero resulta poco práctico y arriesgado. Por otro lado, el uso de baños de agua caliente consiste en sumergir la fruta durante 2-5 minutos a 45°C-55°C, pero es un método menos efectivo. Por último, otro método físico es la irradiación con luz ultravioleta. En la actualidad, estos métodos tienen una efectividad limitada al ser poco persistentes (Ballester y Lafuente, 2017).

Los métodos biológicos se refieren al uso de antagonistas como bacterias, levaduras u otros hongos como agentes de control biológico. Pueden aplicarse tras la cosecha en soluciones acuosas o como ingredientes en recubrimientos comestibles. A pesar de las investigaciones realizadas, el uso comercial es muy limitado.

Los métodos químicos reúnen a compuestos sintéticos o naturales de muy baja toxicidad para mamíferos y el medio ambiente. Puede tratarse de sales inorgánicas o recubrimientos comestibles con propiedades antifúngicas. También compuestos naturales de origen vegetal o animal como extractos de plantas, aceites esenciales o algunas proteínas. Algunos ejemplos son el quitosano o el gel de Aloe.

Como sustancias que están en contacto con alimentos, todos estos químicos deben ser considerados aditivos alimentarios o tener la denominación de compuesto GRAS 'Generally Regarded As Safe' concedida por la FDA. Es importante mencionar que en la actualidad las sustancias 'GRAS' están exentas de niveles máximos de residuos en los alimentos.

#### **1.10.4 SALES INORGÁNICAS**

Dentro de las sustancias consideradas 'GRAS' las más importantes son las sales orgánicas e inorgánicas, estos compuestos son aplicados como soluciones acuosas sobre los frutos, y presentan una actividad antifúngica muy específica sobre los distintos hongos (Palou, 2020).

Las sales son depresores de la actividad del agua, es decir sustancias que impiden que el agua esté disponible, permitiendo que los microorganismos puedan desarrollarse en ella. El carbonato y bicarbonato de sodio, o el sorbato de potasio son más efectivas contra *Penicilium* que otras sales y ya se usan comercialmente como tratamientos post-cosecha en cítricos. En general, estos tratamientos son más efectivos en naranjas que en mandarinas, que son de manera natural más proclives a enfermedades post-cosecha provocadas por hongos fitopatógenos debido a las características de la piel.

Las sales son compuestos relativamente asequibles, y tienen efectos sinérgicos con otros tratamientos. Pueden utilizarse en combinación con recubrimientos comestibles naturales que presenten capacidad antifúngica inherente, como la hidroxipropilmetilcelulosa, un emulsionante que en combinación con sorbato de potasio o benzoato de sodio ha mostrado resultados muy positivos controlando las podredumbres provocadas por *Penicilium* en naranja. y mandarina (Zacarías L., 2020).

## **2 OBJETIVOS**

La industria de la producción en fresco de cítricos se enfrenta a un proceso de adaptación, en el que aun sigue siendo necesario el uso de fungicidas de síntesis para asegurar baja incidencia de enfermedades post-cosecha. Pero, los consumidores y legisladores cada vez están más concienciados con la salud humana y el medio ambiente, por lo que exigen productos con menores niveles de agroquímicos. En este sentido, los consumidores cada vez están más interesados en las propiedades antioxidantes y bioactivas de los alimentos que consumen, por lo que preservar su calidad es un objetivo muy importante para la industria.

Por lo tanto, el presente estudio analiza cuales son los efectos de los tratamientos con silicato potásico y bicarbonato sódico en naranjas, en la incidencia de podredumbres y los parámetros de calidad en el momento de la recolección y tras 42 días de almacenamiento a 8 °C.

Así los objetivos propuestos para este estudio han sido los siguientes:

- 1) Evaluar los efectos anti-fúngicos del bicarbonato de sodio y el silicato de potasio utilizados como tratamientos pre-cosecha a concentraciones de 0,1% y 1% en naranjas Navel.
- 2) Evaluar los efectos sobre la calidad físico-química y antioxidante de las naranjas Navel tras la aplicación de distintos tratamientos pre-cosecha con bicarbonato de sodio y silicato de potasio.

### **3 METODOLOGÍA**

#### **3.1 MATERIAL VEGETAL Y DISEÑO EXPERIMENTAL**

El ensayo fue realizado con naranjas del grupo Navel variedad 'Chistlett'. La finca, de uso comercial, estaba localizada en Alhama de Murcia (Murcia, España). Además, en la finca se realiza un cultivo adaptado a las prácticas de agricultura convencional. Los árboles que forman parte del ensayo, se seleccionaron según su edad (8 años) y tamaño para tratar de garantizar la homogeneidad de los resultados obtenidos en la zona seleccionada.

Por otro lado, la distribución de los árboles en la finca es importante para que los resultados sean significativos estadísticamente. Se realizó un diseño de bloques al azar formados por 4 bloques para cada tratamiento. Cada bloque estaba formado por 5 árboles cada uno, suponiendo un total de 20 árboles por tratamiento. Además, se dejó una línea de árboles sin tratar entre cada bloque, para evitar la contaminación cruzada (Figura 15).

Para la realización del ensayo se seleccionaron dos sales inorgánicas, silicato de potasio (SP) y bicarbonato de sodio (BS). Las concentraciones utilizadas para cada sal fueron del 0,1% y 1% considerándose estas como dosis baja y alta respectivamente (Tabla 8). Los formulados fueron preparados diluyendo las sales directamente en agua. Además, se utilizó el tensioactivo Tween 20 al 0,1% para mejorar la adherencia del tratamiento sobre la superficie de los órganos del árbol. Finalmente, el tratamiento control solo contenía agua y Tween-20.

El volumen total preparado fue de 100 L por tratamiento, aplicando 5 L por árbol. El dispositivo de aplicación usado fue una carretilla con motor de combustión y un depósito de 100 L que aplicaba el tratamiento mediante pulverización foliar. Los árboles fueron tratados mensualmente desde el cuaje hasta la cosecha, coincidiendo así con el periodo de desarrollo de los frutos en el árbol. Finalmente, el último tratamiento se aplicó 7 días antes de la recolección.

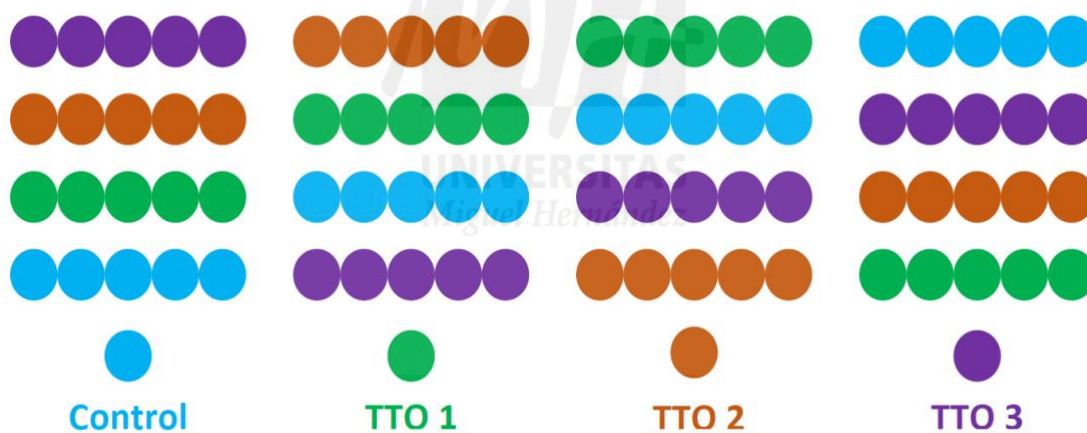
La recolección se llevó a cabo en marzo, cuando los técnicos de campo determinaron el momento óptimo de madurez del fruto. Tras esto, los frutos



fueron llevados al laboratorio, donde se distribuyeron en 2 lotes compuestos por 3 réplicas de 10 naranjas cada uno. Dichos lotes fueron almacenados a una temperatura de 8 °C y humedad relativa del 85% y muestreados a los 0 y a los 42 días. Además, se guardaron muestras de flavedo para el análisis de contenido fenólico y actividad antioxidante total.

**TABLA 8. Tratamientos del ensayo**  
Fuente: elaboración propia

Tratamiento	Concentración
Control	agua
NaHCO <sub>3</sub>	0,1%
NaHCO <sub>3</sub>	1,0%
K <sub>4</sub> SiO <sub>4</sub>	0,1%
K <sub>4</sub> SiO <sub>4</sub>	1,0%



**FIGURA 15. Diseño experimental en bloques distribuidos en la parcela.**  
Fuente: elaboración propia

## **3.2 DETERMINACIONES ANALÍTICAS**

### **3.2.1 Tasa de respiración**

Se ha seguido el método propuesto por Kader (1995). El procedimiento consiste en cerrar los frutos pesados previamente en recipientes herméticos durante 1 hora. Estos recipientes tienen en la tapa una válvula que permite tomar muestras de aire con la ayuda de una jeringa de 1mL.

El dióxido de carbono producido se midió utilizando un cromatógrafo de gases Shimadzu 14B-GC (Figura 16) junto con un detector de conductividad térmica (TCD) y una columna CTR I (ALLTECH). Durante las lecturas, la temperatura del horno era de 35°C, la del inyector era de 120°C y la del detector de 65°C. El flujo de la fase móvil (Helio) era de 65mL/min.

El sistema se calibró previamente con una muestra de aire atmosférico cuya concentración de dióxido de carbono es de 0,036%. El cromatógrafo está conectado a un sistema informático que mide el área del pico producido por el dióxido de carbono, permitiendo su cuantificación.

Al conocer los valores del peso de los frutos, del volumen de los recipientes, y del tiempo se pudo determinar el dióxido de carbono producido por hora y por kilogramo de muestra según la fórmula:

$$\frac{mgCO_2}{Kg \times h} = \frac{(V - P) \times (0,687 \times A_{CO_2} \times 60)}{A_{patrón} \times P \times T}$$

### 3.2.2 Pérdida de peso

Las pérdidas de peso se determinaron como el porcentaje de pérdida de peso entre el principio y el final del experimento.

La determinación del peso de los frutos se realizó con una balanza Radwag WLC 2/AC Radwag wagi Elektroniczne (Figura 16) con 2 cifras decimales de precisión. Los frutos fueron pesados el mismo día que fueron recolectados y volvieron a pesarse al final del experimento para conocer su pérdida de peso según el procedimiento descrito. Los resultados son la media  $\pm$  ES del total de frutos por cada lote.

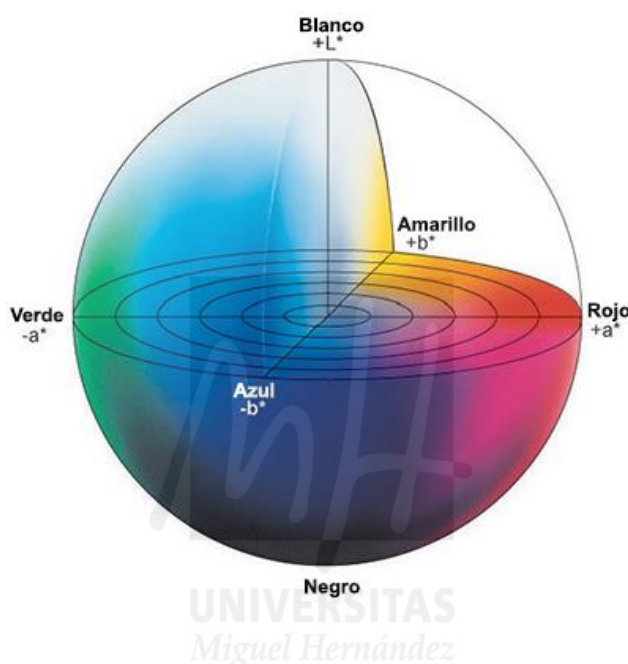


**FIGURA 16.** Cromatógrafo de gases Shimadzu 14B y báscula Radwag WLC 2/AC.

Fuente: Shimadzu y Radwag (2023).

### 3.2.3 Color

El color externo de los frutos de cada lote se obtuvo a partir de 3 puntos equidistantes en la zona ecuatorial de cada fruto utilizando un colorímetro Minolta CRC 400, Minolta Camera (Figura 18). El espacio de color CIELab (Figura 17) es uno de los sistemas de coordenadas más populares para medir el color de los objetos. Compuesto por los ejes L\* (luminosidad), a\* (posición entre rojo y verde) y b\* (posición entre amarillo y azul). El sistema de coordenadas CIELab se utilizó para comparar los datos obtenidos con la percepción humana del color.



**FIGURA 17. Espacio de color CIELab**

Fuente: Konica Minolta Sensing

Los resultados están expresados según el índice de color para cítricos (ICC), según la metodología propuesta por Jimenez-Cuesta, (1981). Así, los datos del espacio de color CIELab se utilizan en la siguiente fórmula:

$$ICC = \frac{1000 \times a}{L \times b}$$

Los datos son la media  $\pm$  ES del total de frutos de cada lote.

### 3.2.4 Textura

La textura fue determinada con un texturómetro TA-XT2i Stable Microsystems, (Figura 18) capaz de realizar ensayos de tracción, compresión y flexión con una fuerza máxima de 25 N y una precisión media de 0,5 a 1%. Para realizar la determinación se aplicó una fuerza constante sobre la superficie del fruto hasta producir una deformación del 5% respecto a su diámetro ecuatorial. Se determinó en todos los frutos de cada lote el día de su recolección y otra vez al final del experimento. Los resultados se expresan como  $N\ mm^{-1}$  siendo la media  $\pm$  ES de los resultados de cada fruto de cada lote.

### 3.2.5 Procesado de muestras para análisis físico químicos y funcionales.

Para realizar las siguientes determinaciones se extrajeron de cada uno de los frutos que conforman cada lote varias láminas de flavedo de aproximadamente 1 cm de ancho. Las láminas fueron debidamente identificadas y almacenadas en bolsas con autocierre zip en el congelador a  $-20^{\circ}C$ . A continuación, los frutos se partieron en dos mitades para obtener el zumo que se utilizará para realizar los sólidos solubles totales y acidez total.



**FIGURA 18.** Colorímetro Minolta CRC400 y texturómetro Stable Microsystems TA-XT2i

Fuente: Konica Minolta y Stable Microsystems (2023).

### 3.2.6 Sólidos solubles totales

Fueron medidos por duplicado mediante refractometría con un refractómetro digital Hanna HI96811 Hanna instruments (Figura 19), calibrado con agua destilada y se realizaron medidas de zumo a 20°C. La refractometría se basa en los distintos índices de refracción que presentan dos medios con sustancias disueltas distintas: el agua destilada, y el zumo recién exprimido. Los resultados, expresados en grados Brix, como la media  $\pm$  ES de las determinaciones realizadas para cada lote.

### 3.2.7 Acidez titulable

La acidez total se determinó por duplicado utilizando el mismo zumo que para la anterior determinación a través de un equipo Omnis Sample Robot Metrohm (Figura 19), con una sensibilidad de  $\pm 0,01$  pH. Se tomó 0,5mL de zumo diluido en 25mL de agua destilada, añadiendo NaOH 0,1N hasta alcanzar pH 8,1 (AOAC, 1990). Los resultados se expresaron como gramos de ácido cítrico equivalentes a 100 g de peso fresco y los resultados se expresaron como la media  $\pm$  ES de las determinaciones realizadas en los frutos de cada lote.



**FIGURA 19.** Refractómetro Hanna HI96811 y equipo Omnis Sample robot.

Fuente: Hanna y Metrohm (2023)

### **3.2.8 Extracciones de fases hidrosoluble y liposoluble**

Para las siguientes determinaciones (fenoles totales y actividad antioxidante total) se realizó la extracción de las fases liposoluble e hidrosoluble a partir de las muestras reservadas de láminas de flavedo citadas anteriormente.

La extracción consistió en pesar 1 gramo de muestra de flavedo triturada en un tubo de centrifuga. A los que se añadieron 5 mL de tampón fosfato y 3 mL de etil acetato. Tras esto, se homogeneizó la mezcla con un Polytron (IKA T18 basic, Ultraturax) y se centrifugó a 10.000 rpm en una centrifuga C30P (B. Braun Biotech international) durante 15 minutos a 4°C. Este procedimiento de extracción se realizó para todos los lotes por triplicado (3 réplicas).

Tras el centrifugado, las fases hidrosoluble y liposoluble de cada réplica fueron separadas y debidamente identificadas en tubos Eppendorf por duplicado para su congelación.

### **3.2.9 Fenoles totales**

A partir de las muestras extraídas en el punto anterior, se determinaron los fenoles totales por duplicado utilizando el reactivo Folin-Ciocalteu, basado en una reacción de óxido-reducción que provoca una coloración azulada que puede ser medida espectrofotométricamente.

Primeramente, se preparó una dilución 1:4 con 750 µl de tampón fosfato y 250 µl de fase hidrosoluble. En tubos de ensayo de vidrio se colocaron 50 µl de la dilución 1:4 preparada, 450 µl de tampón fosfato y 2,5 mL de reactivo Folin diluido 1:10. Se agitó durante 10 segundos en un vortex (IKA) y se dejó reposar durante 2 minutos a temperatura ambiente. Luego se añadieron 2 mL de tampón carbonato sódico anhidro (0,7M) parando la reacción y se agitó durante otros 10 segundos. Finalmente, los tubos de ensayo se introdujeron en un baño a 55°C durante 5 minutos.

La lectura de las muestras se realizó con un espectrofotómetro UV-1900 UV-Vis (Shimadzu), midiendo la absorbancia a 760 nm. Se cuantificó en base a una

recta patrón con ácido gálico, expresando los resultados como mg de ácido gálico equivalentes (GAE) en 100 g de preso fresco. Los resultados están expresados como la media  $\pm$  ES.

### **3.2.10 Actividad antioxidante total**

A partir de las muestras extraídas anteriormente, se determinó la actividad antioxidante total utilizando la fase liposoluble y la fase hidrosoluble. Brevemente, se añadieron 30  $\mu$ l de muestra, 30  $\mu$ l de reactivo ABTS, 30  $\mu$ l de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y 30  $\mu$ l de peroxidasa. Este volumen se completó con 880  $\mu$ l de etanol en el caso de la fase liposoluble, pero de glicina para la fase hidrosoluble. Tras esto se medía la absorbancia a 730 nm en un espectrofotómetro UV-1900 UV-Vis Shimadzu (Figura 20). Siendo los resultados la media  $\pm$  ES. Además, los resultados fueron expresados como mg Trolox equivalentes a 100 g peso fresco.

### **3.2.11 Análisis estadístico**

Los resultados de las determinaciones analíticas se muestran como medias acompañadas por el error estándar. Las letras minúsculas muestran diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre tratamientos de acuerdo con un test de Tukey. Todos los análisis fueron realizados con el programa estadístico SPSS en la versión 22.0 para Windows.



**FIGURA 20. Espectrofotómetro Shimadzu UV-1900 UV-VIS**

Fuente: Shimadzu (2023).



## **4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Las sales inorgánicas han sido ampliamente utilizadas como tratamientos post-cosecha para el control de podredumbres. Sin embargo, la aplicación de estas sales en pre-cosecha ha sido poco estudiada. Estudios previos publicados por Youssef K (2008; 2012) y Thauria M. (2018) mostraron la aplicación pre-cosecha de sales en cítricos y fruta de hueso, aun así, estas investigaciones se centraron en el control de podredumbres, y no tanto en los efectos de los tratamientos sobre la calidad de los frutos.

La aplicación pre-cosecha de sales inorgánicas, puede suponer una ventaja en cuanto a un menor manejo de la fruta en post-cosecha. Ya que la presencia de la sustancia activa desde un inicio podría prevenir la infección de los patógenos en campo, actuando en las primeras fases de la infección y evitando en gran medida la colonización.

En este sentido, Youssef (2008) comparó el uso del bicarbonato de sodio en diferentes fases del proceso de producción pre-cosecha, post-cosecha y una combinación de ambos, obteniendo los mejores resultados cuando las sales fueron aplicadas en pre-cosecha. En la comercialización de la naranja es importante controlar la calidad interna y externa. Por lo tanto, en este estudio se comprobó como los tratamientos pre-cosecha con bicarbonato de sodio y silicato de potasio afectaron a los distintos parámetros de calidad (Tabla 9).

**TABLA 9. Efecto de los tratamientos pre-cosecha con bicarbonato sódico (BS) y silicato potásico (SP) en las pérdidas de peso (%), firmeza ( $N\ mm^{-1}$ ), tasa de respiración ( $mg\ CO_2\ Kg^{-1}\ h^{-1}$ ), índice de color de cítricos (CCI) e índice de madurez ( $^{\circ}Brix/$  acidez titulable) en naranjas 'Navel' en el momento de la recolección y tras 42 días de almacenamiento a 8 °C. Las diferentes letras minúsculas muestran las diferencias significativas de acuerdo al Test de Tukey ( $p < 0,05$ ).**

Fuente: elaboración propia

Tratamientos	Almacenamiento	Pérdidas de peso	Firmeza	Tasa de respiración	ICC	Índice de madurez
Control			7.1 ± 0.3 b	20.4 ± 1.1 b	6.1 ± 0.2 a	5.7 ± 0.2 a
BS 0.1 %			6.9 ± 0.3 b	20.5 ± 0.6 b	5.4 ± 0.2 b	5.8 ± 0.1 a
BS 1 %	0		5.9 ± 0.3 c	23.1 ± 0.5 a	5.6 ± 0.2 b	5.9 ± 0.2 a
SP 0.1 %			7.7 ± 0.4 a	20.8 ± 0.8 b	5.2 ± 0.2 b	5.5 ± 0.2 a
SP 1 %			7.6 ± 0.4 a	21.6 ± 0.4 b	5.4 ± 0.2 b	5.4 ± 0.2 a
Control		4.3 ± 0.1 b	4.6 ± 0.2 a	13.6 ± 0.5 b	7.2 ± 0.3 a	5.9 ± 0.2 a
BS 0.1 %		3.9 ± 0.1 b	4.4 ± 0.2 a	12.2 ± 0.3 c	6.3 ± 0.2 b	5.9 ± 0.1 a
BS 1 %	42	7.1 ± 0.1 a	3.4 ± 0.1 b	18.2 ± 0.5 a	7.5 ± 0.2 a	6.1 ± 0.2 a
SP 0.1 %		3.9 ± 0.1 b	4.6 ± 0.2 a	13.1 ± 0.2 b	6.1 ± 0.1 b	5.9 ± 0.1 a
SP 1 %		4.1 ± 0.1 b	4.5 ± 0.1 a	13.2 ± 0.3 b	7.3 ± 0.2 a	5.8 ± 0.2 a

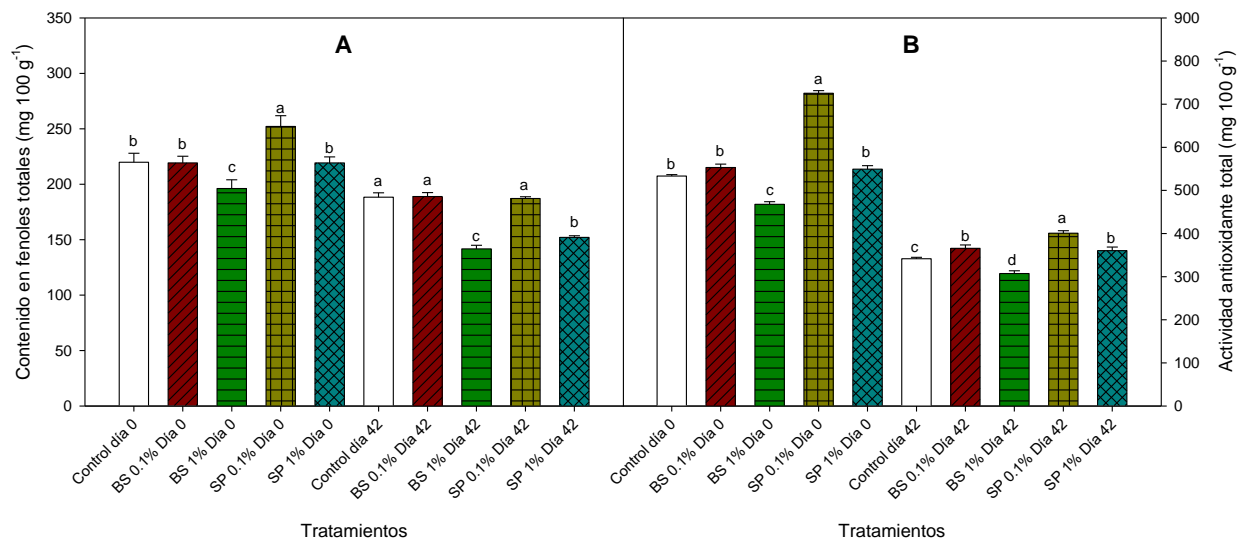
- Pérdidas de peso:** durante el almacenamiento refrigerado se produce un proceso de transpiración a través de la piel del fruto que se relaciona con las pérdidas de peso. Este fenómeno supone una transferencia de vapor de agua hacia la atmósfera, ya que la humedad relativa es inferior. Además, este proceso suele estar relacionado con la tasa de respiración del fruto (Passaro Carvalho, 2012). En nuestro experimento, se pudo observar cómo tras conservar las naranjas durante 42 días a 8 °C los controles sufrieron unas pérdidas de peso de  $4,3 \pm 0,1\%$ , sin diferencias significativas con los frutos tratados con SP 1%, SP 0,1% y BS 0,1%. En cambio, los frutos tratados con BS 1%, perdieron hasta un  $7.1 \pm 0.1\%$  de peso (Tabla 9). Este aumento en las pérdidas de peso estaría relacionado con una pérdida de calidad, ya que afecta directamente a la turgencia y frescor del fruto, lo que provoca que sean menos apetecibles por los consumidores, además de favorecer la aparición de enfermedades, principalmente de carácter fúngico

- Firmeza**: durante el proceso de senescencia, las naranjas sufren una pérdida de firmeza relacionada con la solubilización de las pectinas de la piel (Agustí, 2012). En este sentido, los resultados mostraron que los frutos tratados con SP 1% y SP 0,1% se incrementó significativamente ( $p < 0,05$ ) la firmeza respecto a los controles en el momento de la recolección. Mientras que los frutos tratados con BS 1% mostraron una firmeza significativamente ( $p < 0,05$ ) menor a los controles. Finalmente, los frutos tratados con BS 0,1 % tuvieron la misma firmeza que los controles. Tras 42 días en almacenamiento refrigerado, se observó que la firmeza de los controles y los frutos tratados con BS 0,1%, SP 1% y SP 0,1% no eran estadísticamente diferentes. Sin embargo, la firmeza en los frutos tratados con BS 1% siguió siendo menor que en los demás tratamientos (Tabla 9). Esto puede ser debido a que una alta concentración de la sal provoque un aumento de la actividad metabólica del fruto y de las enzimas hidrolíticas. Estos resultados son parecidos a los publicados por Thauria M. (2018), en los cuales se evaluó el efecto de los tratamientos pre-cosecha con silicato de potasio y bicarbonato de sodio en melocotonero. Sus resultados mostraron, además, que las menores pérdidas de firmeza se producían en los frutos tratados con silicato de potasio, los que está en consonancia con nuestros resultados.
- Tasa de respiración**: está relacionada con el metabolismo de los carbohidratos, en el que se consume oxígeno y se produciendo dióxido de carbono, vapor de agua y energía (Passaro Carvalho, 2012). En el momento de la recolección, los frutos tratados con BS 0.1%, PS 0,1 % y PS 1 % tuvieron la misma tasa de respiración que los controles. Mientras los frutos tratados con BS 1% mostraron una tasa de respiración significativamente mayor ( $p < 0,05$ ) que los controles. Tras 42 días de almacenamiento refrigerado la tasa de respiración disminuyó en todos los tratamientos, manteniéndose las diferencias mostradas anteriormente (Tabla 9). Estos resultados se pueden relacionar con los obtenidos en las pérdidas de peso y firmeza, ya que se muestran las diferencias de actividad metabólica entre los frutos.

- **Índice de color**: durante la maduración, la clorofila a y b se degrada y aumenta el contenido en carotenoides, principalmente xantofilas (Kato et. al 2004). El índice de color aumenta conforme se incrementan los colores rojos y disminuye la luminosidad. En los resultados se observó que los frutos tratados con BS y PS al 0,1 y 1 % presentaban índices de color significativamente menores ( $p < 0,05$ ) que los frutos control en el momento de la recolección. Sin embargo, tras 42 días de almacenamiento refrigerado, el índice de color fue significativamente mayor ( $p < 0,05$ ) en los frutos control y los tratados con BS 1% y SP 1% que en los frutos tratados con BS 0,1% y SP 0,1% (Tabla 9).
- **Índice de madurez**: durante la maduración del fruto la concentración de ácidos libres disminuye debido a la dilución provocada por el aumento en tamaño del fruto y a la metabolización de los ácidos en el ciclo de Krebs (Agustí, 2012; Passaro Carvalho, 2012). En cambio, la concentración de sólidos solubles aumenta, principalmente, el contenido en sacarosa (Passaro Carvalho, 2012). Por lo tanto, el índice de madurez muestra la relación entre los sólidos solubles y la acidez. En nuestros resultados no se encontraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre los frutos control y los frutos tratados con BS y SP a 0.1 y 1 % en el momento de la recolección y tras 42 días de almacenamiento refrigerado (Tabla 9). En este sentido, los resultados indicaron que el uso de estas sales no afectaba a la madurez interna del fruto.
- **Contenido en fenoles**: los compuestos fenólicos se relacionan con importantes funciones en las plantas, entre otros, pueden actuar como intermediarios o de forma directa en las rutas metabólicas relacionadas con el estrés. También juegan un papel importante al aumentar la tolerancia al estrés oxidativo. En este sentido, la función antioxidante de los fenoles ayuda a reducir los niveles de especies reactivas al oxígeno (ROS), las cuales provocan importantes daños en las células (Hasanuzzaman M., 2020). En cuanto a los resultados en el momento de la recolección, no se encontraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en el contenido de fenoles totales en los frutos control y los tratados con SP

1% y BS 0,1%, mientras que en los frutos tratados con BS 1 % se observó un descenso del 13,6 % y en los tratados con SP 0.1 % un aumento del 13,7 % respecto a los controles. Por otro lado, tras 42 días de almacenamiento refrigerado, no se observaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre los frutos control y los tratados con BS 0,1% y SP 0,1%, mientras que en los frutos tratados con BS 1% y SP 1% se observó un descenso en el contenido en fenoles totales del 22% y del 17%, respectivamente, respecto a los controles (Figura 21 A).

- **Actividad antioxidante total**: los compuestos antioxidantes tienen un papel fundamental detoxificando los efectos negativos de los compuestos ROS. Además, gran parte estas sustancias pueden tener efectos beneficiosos sobre la salud de los humanos, por lo que incorporarlos en la dieta suele ser recomendado (Hasanuzzaman M., 2020). Los resultados de la actividad antioxidante total fueron parecidos a los fenoles, ya que gran parte de la actividad antioxidante de la naranja está determinada por el contenido fenólico. En el momento de la recolección, se pudo observar que no hubo diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en los frutos control y los tratados con BS 0,1 % y SP 1 %. En cambio, la actividad antioxidante total en los frutos tratados con BS 1% se redujo un 10,4%, mientras que en los frutos tratados con SP 0,1% se incrementó un 35% respecto a los controles. Tras 42 días de almacenamiento refrigerado, todos los tratamientos registraron una disminución de la actividad antioxidante total, manteniendo las diferencias observadas en el momento de la recolección (Figura 21 B).

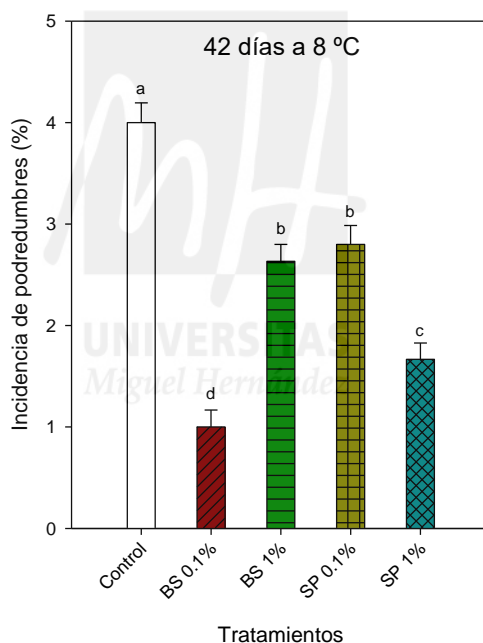


**FIGURA 21.** Efecto de los tratamientos pre-cosecha con bicarbonato sódico (BS) y silicato potásico (SP) en el contenido en fenoles totales (A) y actividad antioxidante total (B) de naranjas ‘Navel’ en el momento de la recolección y tras 42 días de almacenamiento a 8 °C. Las diferentes letras minúsculas muestran las diferencias significativas de acuerdo al Test de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Fuente: elaboración propia

- Control de podredumbres:** los resultados mostraron que todos los tratamientos aplicados en pre-cosecha con BS y SP controlaban la incidencia de podredumbres en post-cosecha. Tras 42 días de almacenamiento refrigerado, se observó que en los frutos tratados con SP 0,1% y BS 1% la incidencia de podredumbres se redujo un 30% y un 35%, respectivamente, con los controles. Sin embargo, los mejores resultados se lograron con las concentraciones más elevadas. Así, en los frutos tratados con SP 1% y BS 0,1% se redujo la incidencia de podredumbres un 57,5% y un 75%, respectivamente, con los controles (Figura 22). Estos resultados están en consonancia con los publicados por Thauria M. (2018), en los que observó que el control más efectivo de *Monilinia spp.* se conseguía con la mayor concentración de SP y BS. Según Youssef K. (2012), las diferencias en la efectividad de las distintas sales inorgánicas sobre los distintos hongos son debidas a las complejas interacciones que se producen entre el tratamiento, patógeno y huésped. Sin embargo, ha sido demostrado que el BS inhibe la germinación de esporas, la

elongación del tubo germinativo, y la producción de enzimas pectinolíticas en distintos hongos (Nigro y col. (2006), Hervieux y col. (2002), Smilanick y col., (2005)). Además, en un estudio publicado por Moscoso A. y Palou L. (2013), se confirmó el efecto del SP, controlando la infección provocada por *Penicillium italicum* y *Penicillium digitatum* en naranjas 'Valencia Late'. En cuanto al modo de acción de las sales inorgánicas, Liu y col (2010) relacionaron su efecto principalmente en la membrana del hongo, provocando su ruptura. Por otro lado, Buonauro y col. (2009) y Datnoff y col. (2001), mostraron que las sales eran capaces de generar barreras físicas y mecánicas, lo que podría prevenir el ataque de hongos fitopatógenos. Además, Epstein (1999) comprobó que los tratamientos con sales de silicio pueden actuar como elicitores, incrementando la expresión de los sistemas antioxidantes.



**FIGURA 22.** Efecto de los tratamientos pre-cosecha con bicarbonato sódico (BS) y silicato potásico (SP) en la incidencia de podredumbres de naranjas 'Navel' en el momento de la recolección y tras 42 días de almacenamiento a 8 °C. Las diferentes letras minúsculas muestran las diferencias significativas de acuerdo al Test de Duncan ( $p < 0,05$ ).

Fuente: elaboración propia

## **5 CONCLUSIONES**

- Tanto el silicato de potasio como el bicarbonato sódico han reducido la incidencia de podredumbres post-cosecha, debido a su acción como reductores de agua disponible para el desarrollo de hongos.
- La concentración 0,1% de bicarbonato sódico controlaba las podredumbres mejor que el resto de los tratamientos, pero era capaz de alterar negativamente parámetros físico-químicos relacionados con la calidad de los frutos. También son capaces de alterar las cantidades de compuestos bioactivos antioxidantes de los frutos.
- Las concentraciones más efectivas en el control de podredumbres eran la 0,1% del bicarbonato de sodio y la 1% del silicato potásico.
- En futuros ensayos, sería interesante comparar los resultados utilizando concentraciones menores de bicarbonato de sodio y concentraciones mayores de silicato de potasio.



## 6 BIBLIOGRAFÍA

- Abad, V. 1984. Historia de la naranja, Comité Gestión Exportación Frutos Cítricos, Valencia, España.
- Agustí, M. 2012. Citricultura, Mundi-prensa, Madrid, España.
- Agustí M., Martínez-Fuentes A., Mesejo C., Juan M., Almela V., 2003. Cuajado y Desarrollo de los Frutos Cítricos, Conselleria de Agricultura Pesca y Alimentación, Generalitat Valenciana, Valencia, España.
- Alquézar B., Rodrigo M. J., & Zacarías L., 2008. Carotenoid biosynthesis and their regulation in citrus fruits. *Tree and Forestry Science and Biotechnology*, 2(1), 23-37.
- AOAC. 1990. Official methods of análisis of the AOAC. Method 962.19 Association of official analytical chemists (Arlington).
- Bain J.M., 1958. Morphological, anatomical and physiological changes in the developing fruit of the Valencia orange (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck). *Aust. J. Bot.*, 6: 1-24.
- Bowman K., Joubert J., 2020. Chapter 6 - Citrus rootstocks, The Genus Citrus. Woodhead Publishing, 105-127. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812163-4.00006-1>.
- Carmona L., Zacarías L., & Rodrigo M. J., 2012. Stimulation of coloration and carotenoid biosynthesis during postharvest storage of 'Navelina' orange fruit at 12 C. *Postharvest Biology and Technology*, 74, 108-117.
- Castle W. S., Wutscher H. K., Youtsey C.O., & Pelosi R.R., 1993. Citrumelos as rootstocks for Florida citrus. In *Proceedings of the Florida State Horticultural Society* (Vol. 101, pp. 28-32).
- Castle W.S., Bowman K.D., Baldwin J.C., Grosser J.W., & Gmitter F.G. 2011. Rootstocks affect tree growth, yield, and juice quality of 'Marsh' grapefruit. *HortScience*, 46(6), 841-848.
- Davies F.S., & Albrigo L.G., 1999. *Citrus*. Acribia, SA.
- Deng X., Yang X., Yamamoto M., Kumar M., 2020. Chapter 3 - Domestication and history, The Genus Citrus, Woodhead Publishing. Pages 33-55. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812163-4.00003-6>.

- Del Río-Conesa J.A., (2010) Componentes nutricionales de los Cítricos. Universidad de Murcia, Murcia, España.
- Eckert J.W., 1989. Postharvest disorders and diseases of citrus fruit. *The citrus industry*, 179-260.
- Erickson L.C., 1968. General Physiology of Citrus. p. *Citrus Industry*, 86-126.
- FAO, 2021. Citrus Fruit, Fresh and processed statistical bulletin 2020. <https://www.fao.org/3/cb6492en/cb6492en.pdf>
- Forner-Giner M.A., Legaz F., Primo-Millo E., & Forner J., 2011. Nutritional responses of citrus rootstocks to salinity: performance of the new hybrids Forner-Alcaide 5 and Forner-Alcaide 13. *Journal of plant nutrition*, 34(10), 1437-1452.
- Forner Valero J.B., Forner-Giner M.A., & Alcaide A., 2003. Forner-Alcaide 5 and Forner-Alcaide 13: two new citrus rootstocks released in Spain. *HortScience*, 38(4), 629-630.
- Gang M., Zhang L., Sugiura M., Kato M., 2020. Chapter 24 - Citrus and health, The Genus Citrus, Woodhead Publishing. Pages 495-511. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812163-4.00024-3>.
- García Álvarez-Coque J.M, Moltó García, E., 2020. Una hoja de ruta para la citricultura española, Cajamar.
- García Lidón A., del Río-Conesa J.A., Porrás-Castillo I., Fuster-Soler M.D., Ortuño-Tomás A., 2003. El limón y sus componentes bioactivos. Consejería de Agricultura, Agua y Medio Ambiente (Murcia). 1-127 pp.
- González-Sicilia E., 1968. El cultivo de los agrios, 3rd. edit., Ed. Bello, Valencia, España.
- García-Lor, A., 2013. Organización de la diversidad genética de los cítricos. Tesis Doctoral. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias y Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España.
- Hasanuzzaman M, Raihan MRH, Masud AAC, Rahman K, Nowroz F, Rahman M, Nahar K, Fujita M. Regulation of Reactive Oxygen Species and Antioxidant Defense in Plants under Salinity. *Int J Mol Sci*. 2021 Aug 28;22(17):9326. doi: 10.3390/ijms22179326. PMID: 34502233; PMCID: PMC8430727.
- Hervieux, V., Yaganza, E. S., Arul, J., & Tweddell, R. J. (2002). Effect of organic and inorganic salts on the development of *Helminthosporium solani*, the causal agent of potato silver scurf. *Plant disease*, 86(9), 1014-1018.

- Ikoma Y., Matsumoto H., & Kato M., 2016. Diversity in the carotenoid profiles and the expression of genes related to carotenoid accumulation among citrus genotypes. *Breeding science*, 66(1), 139-147.
- IVIA. 2019. Valencia late. <https://ivia.gva.es/es/naranjos>
- IVIA. 2019. Navel Chislett <https://ivia.gva.es/es/naranjos>
- Kader, A., 1995. Regulation of fruit physiology by controlled/modified atmospheres. *Acta Horticulturae*, 398:6. <http://doi.org/10.17660/actahortic.1995.398.6>
- Kato M, Ikoma Y, Matsumoto H, Sugiura M, Hyodo H, Yano M. Accumulation of carotenoids and expression of carotenoid biosynthetic genes during maturation in citrus fruit. *Plant Physiol.* 2004 Feb;134(2):824-37. doi: 10.1104/pp.103.031104. Epub 2004 Jan 22. PMID: 14739348; PMCID: PMC344557.
- Ladaniya M., 2010. *Citrus fruit: biology, technology and evaluation*. Academic press.
- Lado J., Rodrigo M.J., & Zacarías L., 2015. Analysis of ethylene biosynthesis and perception during postharvest cold storage of Marsh and Star Ruby grapefruits. *Food Science and Technology International*, 21(7), 537-546.
- Lee A.T.C., Joubert J., & van Vuuren S.P., 2009. Rootstock choice. *Integrated production guidelines for export citrus*, 1(6).
- Lidón A., del Río-Conesa J.A., Porrás-Castillo I., Fuster-Soler M.D., Ortuño-Tomás A., 2003. El limón y sus componentes bioactivos. Consejería de Agricultura, Agua y Medio Ambiente. Murcia, España.
- Lyouf N., Legrifi L., Ennahli N., 2023. Evaluating food additives based on organic and inorganic salts as antifungal agents against *Monilinia fructigena* and maintaining postharvest quality of apple fruit. *J Fungi*. 9, 762.
- MAPA, (2020). Anuario de estadística 2021. [https://www.mapa.gob.es/estadistica/pags/anuario/2021/ANUARIO/AE\\_2021.pdf](https://www.mapa.gob.es/estadistica/pags/anuario/2021/ANUARIO/AE_2021.pdf)
- MAPA, (2023). Análisis de la campaña de cítricos 2022 – 2023.
- Moscoso P.A., 2013. Aproximaciones a una estrategia integrada para el control no contaminante de las podredumbres verde y azul en poscosecha de cítricos. Tesis Doctoral. Valencia, España.
- Nigro, F., Schena, L., Ligorio, A., Pentimone, I., Ippolito, A., & Salerno, M. G. (2006). Control of table grape storage rots by pre-harvest applications of salts. *Postharvest Biology and Technology*, 42(2), 142-149.

- Palou L., 2014. *Penicillium digitatum*, *Penicillium italicum* (green mold, blue mold). In *Postharvest decay* (pp. 45-102). Academic Press.
- Palou L., 2009. Control of citrus postharvest diseases by physical means. *Tree and Forestry Science and Biotechnology*, 3, 127-142.
- Pardo, J. Buj, A., 2013. Calendario de recolección de las naranjas. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias, Valencia, España.
- Porat R., 2008. Degreening of citrus fruit. *Tree and Forestry Science and Biotechnology*, 2(1), 71-76.
- Passaro-Carvalho C.P., Navarro P., Salvador A. Postharvest *Citrus*: growing, postharvest and industrialization, Lasallia Research and Science Series, Bogota, Colombia (2012), pp. 223-285
- Schneider H., 1968. The anatomy of Citrus. En: *The Citrus Industry*, vol. II, Reuther W, Batchelor LD y Webber HJ (Eds.), University of California, Div. Agric. Sci., California, E. E. U. U.
- Schreuder W., du Plooy W., Erasmus A., Savage C., Basson E., Lennox C., & Fourie P. H., 2018. Postharvest fungicide treatments and cold storage control citrus black spot infections. *Crop Protection*, 112, 332-342.
- Smilanick, J. L., Mansour, M. F., Margosan, D. A., Gabler, F. M., & Goodwine, W. R. (2005). Influence of pH and NaHCO<sub>3</sub> on effectiveness of imazalil to inhibit germination of *Penicillium digitatum* and to control postharvest green mold on citrus fruit. *Plant disease*, 89(6), 640-648.
- Swingle W.T., 1967. *The Botany of Citrus and its wild relatives*, The Citrus Industry, vol I. University of California, California, EE.UU.
- Tadeo F. R., Cercos M., Colmenero-Flores J. M., Iglesias D. J., Naranjo M. A., Rios G., & Talon M., 2008. Molecular physiology of development and quality of citrus. *Advances in Botanical Research*, 47, 147-223.
- Talon M., Wu G., Gmitter F., Rokhsar D., 2020. Chapter 2 - The origin of citrus, *The Genus Citrus*, Woodhead Publishing. Pages 9-31.
- Thauria M., Youssef S., Ali M., 2018. Control of brown rot on some stone fruits during storage using some salts and inducing resistance. *Arab University J. Agric. Sci. (AUJAS)*, Ain Shams Univ. Cairo, Egypt. Special Issue, 26(2D), 2541-2555.
- Villalba D., 2001. *Variedades y Patrones de Cítricos*, IVIA, Generalitat Valenciana, Valencia, España.

- Wang S., Yang C., Tu H., Zhou J., Liu X., Cheng Y., & Xu J., 2017. Characterization and metabolic diversity of flavonoids in citrus species. *Scientific Reports*, 7(1), 10549.
- Weltenburger, M., 1987. Wissen. Zweiburgen Verlag. Munich, Alemania.
- Zacarias L., Paul J.R., Palou L., 2020. Chapter 21 - Postharvest technology of citrus fruits, *The Genus Citrus*, Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812163-4.00021-8>.
- Zaragoza S., 2007. Aproximación a la historia de los cítricos. Origen, dispersión y evolución de su uso y cultivo. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. Departamento de Producción Vegetal, Valencia, España.
- Zheng Y., He S., Yi S., Zhou Z., Mao S., Zhao X., & Deng L., 2010. Characteristics and oleocellosis sensitivity of citrus fruits. *Scientia horticulturae*, 123(3), 312-317.
- Youssef K., Ligorio A., Pentimone., Nigro., Ippolito., Yaseen T., 2008. Studies on application strategy of salts for controlling *Penicillium roto f* Valencia Late oranges. *Post-harvest biology and technology*. Session 6. Pages 1276-1280.
- Youssef K., Ligorio A., Sanzani S., Nigro F., Ippolito A. 2012. Control of storage diseases of citrus by pre- and postharvest application of salts. *Postharvest Biology and Technology*. Volume 72. Pages 57-63.