

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ORIHUELA

GRADO EN INGENIERÍA AGROALIMENTARIA Y AGROAMBIENTAL



“Caracterización físico-química, funcional y sensorial de cítricos exóticos”

TRABAJO FIN DE GRADO

Febrero 2026

Autor: José Pedro Boj Vicente

Tutor/es: Francisca Hernández García

Marina Cano Lamadrid

CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA, FUNCIONAL Y SENSORIAL DE CÍTRICOS EXÓTICOS

RESUMEN

Los cítricos son un producto altamente producido y demandado debido a sus propiedades funcionales y organolépticas. Además de los mundialmente conocidos, existen multitud de cítricos que aportan características innovadoras y la demanda de los mismos está en continuo crecimiento. Por lo tanto, el objetivo de este estudio es realizar una caracterización físico-química, funcional y sensorial de cuatro variedades de cítricos exóticos: lima Bearss (*Citrus latifolia* Tan.), limón rosado (*Citrus limon* (L.) Eureka Pink Variegated), caviar cítrico (*Citrus australasica* F. Muell.) y mano de buda (*Citrus medica* variedad *Sarcodactylus* Swingle) y compararlos con una variedad de limón común (*Citrus limon* (L.) Osbeck. variedad "Fino 49").

Palabras clave: cítricos, actividad antioxidante, contenido total de fenoles, análisis sensorial, perfil de ácidos orgánicos y azúcares.

ABSTRACT

Citrus fruits are a highly produced and demanded products due to their functional and organoleptic properties. In addition to the globally recognized varieties, there are numerous citrus fruits that offer novelty characteristics, and the demand for them is constantly growing. Therefore, the main objective of this study is to perform a physico-chemical, functional, and sensory characterization of four "exotic" citrus varieties: Bearss lime (*Citrus latifolia* Tan.), pink lemon (*Citrus limon* (L.) Eureka Pink Variegated), finger lime (*Citrus australasica* F. Muell.), and Buddha's hand or fingered citron (*Citrus medica* var. *Sarcodactylus* Swingle), and compare them with a common lemon variety (*Citrus limon* (L.) Osbeck var. "Fino 49").

Key words: citrus fruits, antioxidant activity, total phenolic content, sensory analysis, organic acids and sugar profile.



INFORME DE EVALUACIÓN DE INVESTIGACIÓN RESPONSABLE DE 1. TFG (Trabajo Fin de Grado)

Elche, a 17/02/2026

Nombre del tutor/a	Francisca Hernández García
Nombre del alumno/a	José Pedro Boj Vicente
Tipo de actividad	Implicaciones en materia de seguridad y salud
Título del 1. TFG (Trabajo Fin de Grado)	Caracterización físico-química, funcional y sensorial de cítricos exóticos
Código/s GIS estancias	O10P1003
Evaluación de riesgos laborales	Conforme condicionado
Evaluación ética humanos	No solicitado/No procede
Código provisional	260204003504
Código de autorización COIR	TFG.GAA.FHG.JPBV.260204
Caducidad	2 años

Una vez atendidas las observaciones/condiciones mencionadas en el informe adjunto del Servicio de Prevención de Riesgos Laborales, en caso de que las hubiera, se considera que el presente TFG/TFM carece de riesgos laborales significativos para las personas que participan en el mismo, ya sean de la UMH o de otras organizaciones y, por tanto, es conforme. No obstante, es responsabilidad del tutor/a informar y/o formar al estudiante de los posibles riesgos laborales de la presente actividad.

La necesidad de evaluación ética del trabajo titulado: **Caracterización físico-química, funcional y sensorial de cítricos exóticos** ha sido realizada en base a la información aportada en el formulario online: "TFG/TFM: Solicitud Código de Investigación Responsable (COIR)" y "Condiciones de prevención de riesgos laborales" (si procede). Es importante destacar que si la información aportada en dichos formularios no es correcta este informe no tiene validez.

Por todo lo anterior, **se autoriza** la realización de la presente actividad.

Atentamente,

Alberto Pastor Campos
Jefe de la Oficina de Investigación Responsable
Vicerrectorado de Investigación y Transferencia

Información adicional:

- En caso de que la presente actividad se desarrolle total o parcialmente en otras instituciones es responsabilidad del investigador principal solicitar cuantas autorizaciones sean pertinentes, de manera que se garantice, al menos, que los responsables de las mismas están informados.
- Le recordamos que durante la realización de este trabajo debe cumplir con las exigencias en materia de prevención de riesgos laborales. En concreto: las recogidas en el plan de prevención de la UMH y en las planificaciones preventivas de las unidades en las que se integra la investigación. Igualmente, debe promover la realización de reconocimientos médicos periódicos entre su personal; cumplir con los procedimientos sobre coordinación de actividades empresariales en el caso de que trabaje en el centro de trabajo de otra empresa o que personal de otra empresa se desplace a las instalaciones de la UMH; y atender a las obligaciones formativas del personal en materia de prevención de riesgos laborales. Le indicamos que tiene a su disposición al Servicio de Prevención de la UMH para asesorarle en esta materia.

La información descriptiva básica del presente trabajo será incorporada al repositorio público de Trabajos fin de Grado y Trabajos Fin de Máster autorizados por la Oficina de Investigación Responsable de la Universidad Miguel Hernández. También se puede acceder a través de <https://oir.umh.es/solicitud-de-evaluacion/tfg-tfm/>





Mi más sentido agradecimiento a mis directoras, Paqui y Marina, por su infinita paciencia y dedicación. Gracias por acompañarme en otra etapa más.

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	7
ÍNDICE DE TABLAS	8
ÍNDICE DE GRÁFICAS.....	8
1. INTRODUCCIÓN	9
1.1. HISTORIA DE LOS CÍTRICOS	10
1.2. PRODUCCIÓN MUNDIAL	11
1.3. CÍTRICOS EXÓTICOS	13
1.4. ESTUDIOS PREVIOS. CONTEXTUALIZACIÓN.....	16
2. OBJETIVOS.....	19
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	21
3.1. MATERIAL VEGETAL.....	22
3.2. CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA.....	23
3.2.1. Análisis morfológico.....	23
3.2.2. Sólidos solubles totales, pH, acidez titulable e índice de madurez.....	23
3.2.3. Perfil de ácidos orgánicos y azúcares	24
3.3. CAPACIDAD ANTIOXIDANTE Y CONTENIDO TOTAL DE FENOLES	25
3.4. ANÁLISIS SENSORIAL	26
3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	28
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	29

4.1.	CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA.....	30
4.2.	CAPACIDAD ANTIOXIDANTE Y CONTENIDO TOTAL DE FENOLES	34
4.3.	ANÁLISIS SENSORIAL	35
5.	CONCLUSIONES	38
6.	BIBLIOGRAFÍA	40



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Proporción de producción mundial de limones, limas y naranjas. Promedio desde 1961 a 2023 (FAOSTAT 2025).....	11
Figura 2. Ranking de los diez principales países productores de limones, limas y naranjas. Promedio de producción anual en toneladas desde 1961 hasta 2023 (FAOSTAT 2025)	12
Figura 3. Exportación de cítricos en España (MAPA 2025).....	12
Figura 4. Caviar cítrico (elaboración propia).....	14
Figura 5. Lima Bearss (elaboración propia).....	14
Figura 6. Mano de buda (elaboración propia).....	15
Figura 7. Limón rosado (elaboración propia).....	15
Figura 8. Limón Fino 49, Lima Bearss, Limón rosado, Caviar cítrico y Mano de buda (elaboración propia).	22

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Léxico para el análisis sensorial descriptivo de cítricos exóticos	27
Tabla 2. Peso de los frutos (g), diámetros ecuatorial y longitudinal (mm), ratio diámetros ecuatorial/longitudinal, espesor de la corteza (mm), acidez titulable (g ác. cítrico L ⁻¹), sólidos solubles totales (°Brix), pH e índice de madurez.	30
Tabla 3. Perfil de ácidos orgánicos y azúcares expresados en g 100 mL ⁻¹	32
Tabla 4. Capacidad antioxidante ABTS ⁺ , DPPH [·] y FRAP (mmol Trolox L ⁻¹) y contenido total de polifenoles (TPC) (mg GAE L ⁻¹)	35

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Contenido total de ácidos orgánicos y azúcares (g 100 mL ⁻¹), ratio azúcar/ácido e índice de dulzura.....	33
Gráfica 2. Resultados del análisis sensorial descriptivo mostrando los parámetros evaluados de la fase gustativa	36
Gráfica 3. Resultados del análisis sensorial descriptivo mostrando los parámetros de textura evaluados.....	37



1. INTRODUCCIÓN

1.1. HISTORIA DE LOS CÍTRICOS

Los cítricos son uno de los cultivos con más importancia comercial hoy en día y se encuentran extendidos prácticamente por todo el mundo. Su origen se remonta hace 7 millones de años y son oriundos de regiones tropicales y subtropicales del sureste de Asia (Ancillo y Medina, 2015). Son frutos, cuya principal importancia comercial, radica en su atractivo para los consumidores, lo que se debe a su gran potencial aromático, sus seductores colores y sus afamados beneficios para la salud (Yang y Park 2025). De hecho, antiguamente, el limón era recomendado por los predecesores de la medicina actual como medicamento (Díaz, 2013).

El cidro (*Citrus medica*) fue introducido en Europa en torno al año 300 a.C. y cobró una especial importancia ya que se empleaba como fuente de estacas para injertar otras variedades y, por lo tanto, fue primordial en el sistema multiplicador de plantas. En España, también el cidro fue el primer cítrico del que hay datos en torno al siglo VII, seguido por el naranjo amargo (*Citrus aurantium* var. *amara* L.) y el limonero (*Citrus limon*). En cambio, el naranjo dulce (*Citrus sinensis*) no llegó hasta el siglo XV a través de rutas comerciales de Oriente, seguido por el mandarino (*Citrus reticulata*) en el siglo XIX y por último el pomelo (*Citrus paradisi*) a comienzos del siglo XX (Ancillo y Medina, 2015).

A partir del siglo XVIII se fueron estableciendo las primeras plantaciones, primariamente de naranjo dulce. Fue a partir de mediados del siglo XIX cuando la producción comenzó a aumentar, debido al cambio de producción de multiplicación por semillas, a cultivo por injerto de yemas procedentes de árboles adultos. Este cambio redujo considerablemente el tiempo de entrada en producción de los árboles. Desde finales del siglo XIX el naranjo amargo pasó a ser el más empleado como patrón debido a su resistencia a la gomosis y su buen comportamiento. Sin embargo, el naranjo amargo era sensible al virus de la tristeza y causó la muerte de muchos árboles, hasta que en 1968 se tomaron medidas para ello. A través del “programa de saneamiento, cuarentena y certificación de cítricos” que aseguró el estado óptimo de las plantas. Finalmente, se encontraron los patrones más adecuados y resistentes, hasta llegar a la

actualidad, en la que un 75 % de los cultivos se encuentran sobre citrange Carrizo por sus cualidades de productividad y resistencia (Ancillo y medina, 2015).

1.2. PRODUCCIÓN MUNDIAL

Los principales cítricos que se cultivan en la actualidad proceden de cruces de cuatro especies ancestrales: *Citrus reticulata*, *Citrus máxima*, *Citrus medica* y *Citrus micrantha* (Ibañez et al., 2015). La principal producción mundial es de limones, limas y naranjas, en la que destaca América como principal productor, seguido de Asia y Europa (FAOSTAT, 2025) (Figura 1).

Producción mundial de limones y limas

Producción mundial de naranjas

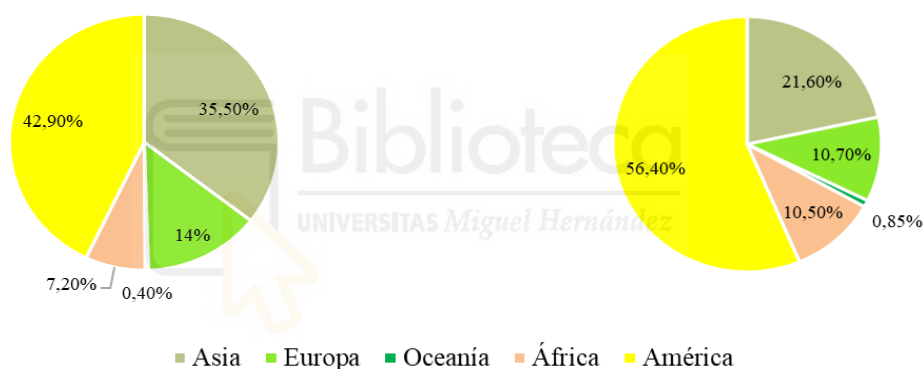


Figura 1. Proporción de producción mundial de limones, limas y naranjas. Promedio desde 1961 a 2023 (FAOSTAT. 2025).

España se encuentra dentro de los 10 países con mayor producción de limas, limones y naranjas a nivel mundial, contando con una media de producción de más de 2 millones de toneladas de naranjas y más de medio millón de toneladas de limones y limas (FAOSTAT, 2025) (Figura 2).

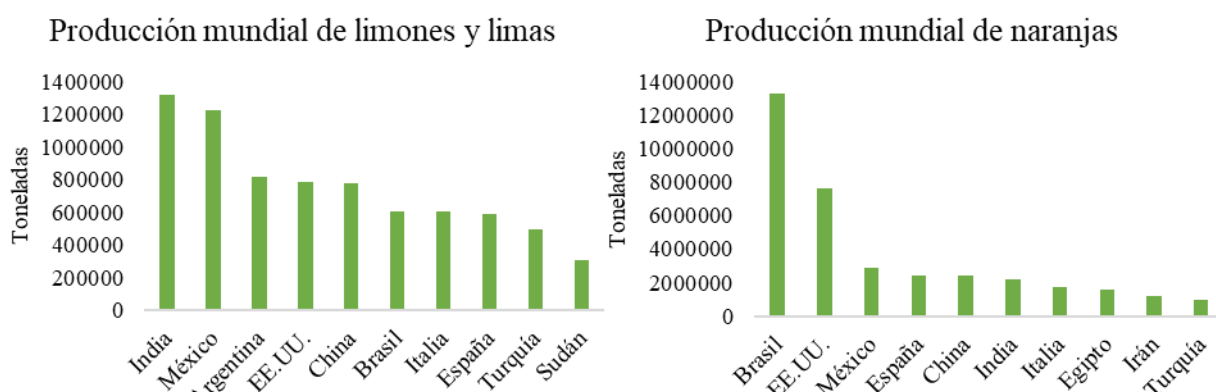


Figura 2. Ranking de los diez principales países productores de limones, limas y naranjas. Promedio de producción anual en toneladas desde 1961 hasta 2023 (FAOSTAT, 2025)

Económicamente, los cítricos suponen un comercio importante para el país, en la campaña 2024/2025 se han exportado cítricos por un valor de 2341 millones €, lo que supone un aumento del 2% con respecto a la media de los últimos 5 años (2295 millones €) (MAPA, 2025) (Figura 3).

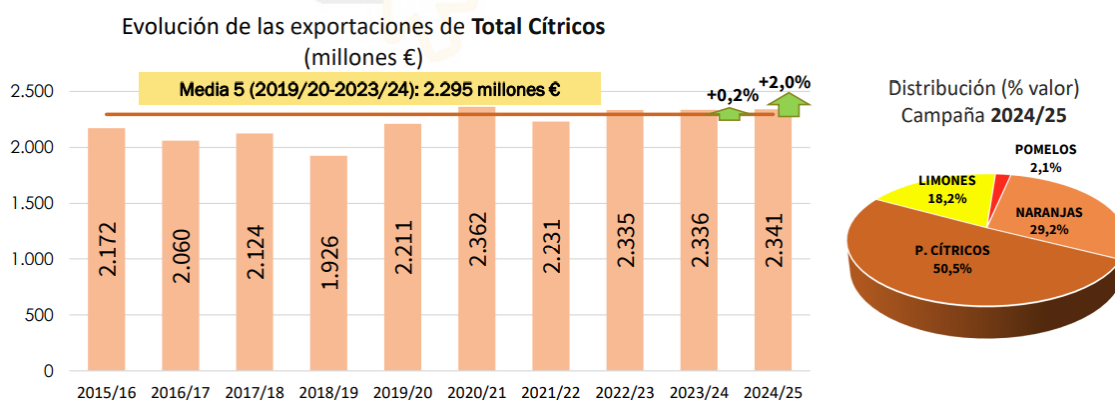


Figura 3. Exportación de cítricos en España (MAPA, 2025).

Estos datos anteriormente citados, confirman la preeminencia de limones, limas y naranjas convencionales en el mercado, con una producción altamente elevada, aunque esto también dejar ver una oportunidad para la diversificación. De hecho, como se puede observar en la figura 3, el 50,5 % de los cítricos exportados corresponde a pequeños cítricos. La demanda gastronómica y

funcional ha aumentado exponencialmente en nuestra era y la industria apuesta por productos con propiedades únicas, lo que hace que el foco hoy en día se vaya dirigiendo hacia cítricos exóticos y minoritarios (IVIA, 2014).

1.3. CÍTRICOS EXÓTICOS

Además de los limones, limas y naranjas, que son los cítricos mundialmente conocidos, más producidos y vendidos, existe una gran variabilidad de cítricos que difieren de tamaño, forma y color (IVIA, 2014). Muchas de estas variedades tienen una pequeña producción y casi nunca con fines comerciales, pero presentan unas características que los hace únicos y muy interesantes para el consumo humano, que son los que denominamos cítricos exóticos. Algunos de ellos son:

- *Citrus australasica* (F. Muell.), más conocido como caviar cítrico (Figura 4). Es originario de Australia y se caracteriza porque sus vesículas presentan la forma característica de las huevas de caviar. La forma exterior de los frutos puede ser elipsoidal o alargada (lo que también hace que se conozca como “*finger lime*”) y suelen ser de tamaño pequeño. El caviar cítrico es el único nativo de Australia que se sigue cultivando con fines comerciales, aunque a muy pequeña escala (Johnson et al., 2025). Pero en los últimos años, su uso en gastronomía por parte de algunos chefs, está haciendo que crezca su demanda y, por lo tanto, su cultivo. (IVIA, 2014). Se está empezando a plantar en varias partes del mundo, incluida el área mediterránea, y su presencia se va notando en los mercados (Aznar et al., 2022).



Figura 4. Caviar cítrico (elaboración propia).

- *Citrus latifolia* Tan. o Lima Bearss (Figura 5). Se trata de un cruce natural de lima mexicana y cidro o limón. Son frutos con forma elipsoidal, de tamaño medio a pequeño. Presenta la ventaja de que el árbol no tiene espinas y los frutos son más vistosos que los de la lima mexicana (IVIA, 2025).



Figura 5. Lima Bearss (elaboración propia)

- *Citrus medica* L. var *sarcodactylis* Swingle o más conocido como mano de buda (Figura 6). Este nombre común se debe a su característica forma que simula una mano. Se trata de árboles pequeños que son sensibles a bajas temperaturas (IVIA, 2014). Es nativo del sureste asiático, incluyendo la parte norte de India, Myanmar y el sur de China. La mano de buda ha sido utilizada como remedio en la medicina tradicional china para ayudar a la digestión o para ayudar el sistema

inmune, entre otros. Además, se emplea como decoración en gastronomía y también para aumentar el aroma de varios platos, dulces y bebidas alcohólicas (Sun et al., 2024).



*Figura 6. Mano de buda
(elaboración propia).*

- *Citrus limon* (L.) var Eureka Pink Variegated o más conocido como limón rosado o Pink lemon (Figura 7). Se trata de árboles con flores llamativas y hojas variegadas (verdes-blancas) (ITP-CitrusID, 2025). La piel de los frutos presenta rayas verdes y color crema, con una superficie rugosa; una vez maduros, el interior tiene una tonalidad rosada, pocas semillas y sabor ácido (El-Sayed et al., 2017).



*Figura 7. Limón rosado
(elaboración propia).*

1.4. ESTUDIOS PREVIOS. CONTEXTUALIZACIÓN

Los cítricos en general, son un cultivo ampliamente estudiado en todo el mundo debido a su gran interés comercial, nutricional, funcional y sensorial. Podemos encontrar una amplia bibliografía con todo tipo de estudios a cerca de las variedades más comunes de cítricos, desde investigaciones que los caracterizan y describen taxonómicamente como Ibañez et al. (2015) y Ancillo y Medina (2015), hasta investigaciones que abordan aspectos, tales como: perfil volátil y sensorial (Cano-Lamadrid et al., 2018), capacidad antioxidante (Aguilar-Hernández et al., 2021), antioxidantes de los aceites esenciales de las pieles de cítricos (Yang y Park, 2025) entre muchos otros.

Con respecto a la actividad antioxidante, multitud de estudios la han investigado ya que es una de las principales fuentes de interés de los cítricos, porque denota la capacidad de los compuestos bioactivos de mantener la estructura celular y su correcto funcionamiento, inhibe la peroxidación lipídica, previene daños oxidativos y cumple muchas otras funciones biológicas como la prevención de algunas enfermedades crónicas como la diabetes o algunas enfermedades cardiovasculares (Zou et al., 2016). Esta actividad antioxidante es conferida a los cítricos por algunos compuestos como son las vitaminas (A, C y E), algunos minerales, como el manganeso, el hierro, el cobre, el zinc y el selenio; algunos polifenoles, como los flavonoides, los ácidos fenólicos y las cumarinas. Los terpenoides, los carotenoides y las pectinas también aportan potencial antioxidante a los cítricos (Zou et al., 2016).

La mano de buda ha sido recientemente estudiada como fuente de compuestos bioactivos, ya que es rica en flavonoides, polifenoles, aceites esenciales, terpenos y polisacáridos, lo que le confiere propiedades beneficiosas para la salud, como actividad antioxidante, efecto inmunomodulador, propiedades antiinflamatorias, potencial anti cancerígeno, efecto hipoglucémico y efectos gastro-protectores (Sun et al., 2024). La reciente revisión bibliográfica anteriormente citada, se centra en la importancia de los polisacáridos procedentes de la mano de buda y describe diferentes formas de extraerlos y purificarlos, sus características estructurales y actividades biológicas y sus

potenciales aplicaciones como complementos alimentarios. Este estudio es muy interesante para la industria farmacéutica para poder emplear este fruto como fuente de compuestos bioactivos de origen natural.

El limón rosado, ha sido poco investigado. Tan solo, un par de estudios abordaron la composición en compuestos bioactivos de tallo, hojas y cáscara del fruto, encontrando ácidos orgánicos, flavonoides, cumarinas, y compuestos volátiles, entre otros; así mismo, cuantificaron el contenido total de fenoles, la capacidad antioxidante y la actividad antimicrobiana de estas partes de árbol y cáscara del fruto (Hamdan et al., 2013; El-Sayed et al., 2017). Por su parte, Polat et al. (2025), realizaron un estudio comparando varios cítricos, entre los que incluyeron el limón rosado. En dicho estudio el limón rosado destacó por presentar el mayor contenido de fenoles totales, la mayor capacidad antioxidante, el mayor contenido en ácido cítrico y un bajo contenido de azúcares.

En cuanto a **la lima Bearss**, son varias las investigaciones que abordan diferentes aspectos, tales como el efecto del riego deficitario en su calidad (Mira-García et al., 2024), su calidad durante el almacenamiento (Reyna-Gonzales et al., 2024), su perfil polifenólico (Sammama et al., 2025) o su poder bactericida (Damián-Reyna et al., 2017), entre otros. Asimismo, algunos estudios caracterizan las propiedades nutricionales y funcionales de la lima Bearss, como los realizados por Panwar et al., (2023) y Liu et al., (2024).

En relación al **caviar cítrico**, existen todavía muy pocos estudios que lo caractericen, debido a su reciente aumento en el interés comercial. Algunas investigaciones han analizado la capacidad antioxidante de distintas partes de este fruto (Aznar et al., 2022). En 2015 se estudiaron sus características sensoriales, aunque aún hay escasa información sobre sus compuestos volátiles. No obstante, se han identificado recientemente moléculas presentes en el caviar cítrico que no se habían detectado antes en otros cítricos. En cuanto a su valor nutricional, diversos trabajos han determinado su capacidad antioxidante, así como la presencia de compuestos fenólicos, ácidos orgánicos,

minerales, antocianinas y algunas vitaminas (Delort y Yuan, 2018; Johnson et al., 2025).

Todos estos cítricos exóticos mencionados anteriormente se encuentran actualmente en auge tanto en la producción como en el consumo y la investigación, ya que representan especies novedosas para los consumidores y ofrecen características innovadoras. Por ello, el objetivo de este estudio es caracterizar estas variedades y compararlas entre sí, con el fin de contribuir al conocimiento de productores y consumidores acerca de sus propiedades fisicoquímicas, capacidad antioxidante y valor sensorial.





2. OBJETIVOS

El objetivo principal del presente estudio consiste en caracterizar cuatro variedades de cítricos exóticos: **lima Bearss** (*Citrus latifolia* Tan.), **limón rosado** (*Citrus limon* (L.) Eureka Pink Variegated), **caviar cítrico** (*Citrus australasica* F. Muell.) y **mano de buda** (*Citrus medica* variedad *Sarcodactylus* Swingle), comparándolos con un cítrico ampliamente cultivado en la zona, el limón Fino 49.

Para alcanzar este objetivo, se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Caracterizar las propiedades físico-químicas de los frutos, mediante la determinación del peso, diámetro, acidez titulable, sólidos solubles totales, pH e índice de madurez.
- Analizar el perfil de ácidos orgánicos y azúcares de los frutos, incluyendo el cálculo del índice de dulzor y de la relación azúcar/ácido.
- Evaluar la capacidad antioxidante de los frutos, a través de la aplicación de distintos métodos analíticos y la determinación del contenido total de compuestos fenólicos.
- Realizar un análisis sensorial descriptivo, centrado en la evaluación del sabor y la textura de los frutos.



3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. MATERIAL VEGETAL

El material vegetal utilizado en este trabajo fueron 5 variedades del género *Citrus*: (Figura 8):

- Limón Fino 49 (*Citrus limon* (L.) Osbeck. variedad "Fino 49")
- Lima Bearss (*Citrus latifolia* Tan.)
- Limón rosado (*Citrus limon* (L.) Eureka Pink Variegated)
- Caviar cítrico (*Citrus australasica* F. Muell.)
- Mano de buda (*Citrus medica* variedad *Sarcodactylus* Swingle)



Figura 8. Limón Fino 49, Lima Bearss, Limón rosado, Caviar cítrico y Mano de buda (elaboración propia).

El material vegetal se obtuvo de una finca comercial localizada en Murcia. El riego se realizó por goteo con adición de fertilizante NPK 4-1-1.5. La finca consta de un suelo arcilloso con un 44 % de CaCO_3 , 17% de carbonato de calcio activo, 5.8 mS cm^{-1} y un pH de 8.4. Se realizaron tres muestreos de 12 frutos cada uno, obteniendo un total de 36 frutos de cada variedad a estudiar. La recolección de los frutos se realizó en todas las orientaciones de árbol.

3.2. CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA

3.2.1. Análisis morfológico

La caracterización morfológica de los frutos se realizó el mismo día de la recolección. Los frutos enteros se pesaron con una balanza de precisión (modelo Sartorius BL 600, Madrid, España; precisión $\pm 0,01$ g). Las medidas longitudinal y ecuatorial se determinaron con un calibre digital (CD-15 DC, Mitutoyo Corp., Telford, Reino Unido; precisión $\pm 0,01$ mm). Este mismo calibre se empleó para cuantificar el espesor de la corteza, tras seccionar los frutos verticalmente en el área ecuatorial. Además, se calculó la relación diámetro longitudinal/ecuatorial.

Una vez completado el análisis morfológico, se procedió a la extracción del jugo mediante un exprimidor manual, para su posterior análisis químico. Las muestras de zumo se centrifugaron a 15.000 rpm durante 20 minutos (Sigma 3-18K, Osterode am Harz, Lerbach, Alemania) y se almacenaron congeladas a -18 °C hasta su análisis.

Cabe destacar que estas determinaciones no se realizaron en la variedad Mano de Buda, debido a su morfología peculiar, que impide establecer comparaciones con el resto de las muestras en las mismas condiciones de medición.

3.2.2. Sólidos solubles totales, pH, acidez titulable e índice de madurez

El contenido de sólidos solubles totales (SST) se determinó utilizando un refractómetro digital Atago N1 (Atago Co. Ltd., Tokio, Japón) a 20 °C, expresando los resultados en grados Brix (°Brix).

El pH y la acidez titulable (AT) se determinaron utilizando un potenciómetro ácido-base (877 Tritino plus; Metrohm ion analyses CH9101, Herisau, Suiza). La AT se determinó mediante titulación con una solución de NaOH 0.1N hasta alcanzar un pH de 8.1, expresando los resultados como gramos de ácido cítrico por litro (g L^{-1}). El índice de madurez se calculó teniendo en cuenta el valor de AT y de SST según la siguiente ecuación:

$$\text{Índice de madurez} = \frac{SST (\text{° Brix}) \times 10}{AT \left(\frac{g}{L}\right)}$$

Estas determinaciones no se realizaron en la variedad mano de Buda, debido a que la elevada densidad de su mesocarpio impidió la obtención del zumo necesario para efectuar los análisis de manera adecuada y compararla con las demás variedades en estudio.

3.2.3. Perfil de ácidos orgánicos y azúcares

El análisis del perfil de ácidos orgánicos y azúcares se llevó a cabo mediante cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC). La extracción de los azúcares y ácidos orgánicos de las muestras se realizó como se describe a continuación. Brevemente, a 0,5 mL de zumo se le adicionó 5 mL de tampón fosfato a pH 7,8; posteriormente se sonicó en un baño de ultrasonidos durante 15 minutos. Una vez sonicadas las muestras fueron centrifugadas (Sigma 3–18 K; Sigma, Osterode am Harz, Germany) a 15.000 rpm durante 20 minutos. Tras la centrifugación el sobrenadante se guardó en viales hasta su posterior uso. Para la determinación de los ácidos orgánicos, se tomó una alícuota de 1 mL de muestra centrifugada, la cual se filtró utilizando un filtro Millipore de 0.45 μm y luego se inyectó en un sistema de cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) HP Series 1100 (Hewlett-Packard, Wilmington, DE, EE. UU.). La fase móvil consistió en una solución de ácido fosfórico a una concentración 0,1 %, con un flujo de 0,5 mL /min. Los ácidos orgánicos fueron separados en una columna Supelcogel C- 610H (30 cm \times 7.8 mm de diámetro interno) equipada con una precolumna Supelguard (5 cm \times 4.6 mm) (Supelco, Inc., Bellefonte, PA, EE. UU.), y detectados mediante un detector UV-Vis a 210 nm. Para el análisis de azúcares, se utilizó el mismo sistema HPLC, la misma fase móvil, flujo y columnas, pero la detección se realizó con un detector de índice de refracción (G1362A, Hewlett-Packard). La cuantificación se llevó a cabo utilizando curvas estándar de ácidos orgánicos puros y azúcares. Las concentraciones de ácidos orgánicos y azúcares se expresaron en g/ 100 g de muestra y los análisis se realizaron por triplicado (Cano-Lamadrid et al., 2017).

Tras obtener los resultados, se calculó el sumatorio de ácidos y azúcares, el índice de dulzura (ID) (Roussos et al., 2021) y la ratio dulce/ácido.

$$ID = 1,00 \times (\text{concentración de glucosa}) + 1,35 \times (\text{concentración de sacarosa}) \\ + 2,3 \times (\text{concentración de fructosa}) + 0,65 \times (\text{concentración de inositol})$$

3.3. CAPACIDAD ANTIOXIDANTE Y CONTENIDO TOTAL DE FENOLES

La extracción para la determinación de la capacidad antioxidante y el contenido total de fenoles (TPC, por sus siglas en inglés) se realizó de acuerdo a Cano-Lamadrid et al. (2017). A 0,5 gramos de muestra se le añadieron 10 mL de una mezcla metanólica (MeOH:agua 80:20 v/v) acidificada con HCl al 1 %, sometiéndose la suspensión a sonicación durante 15 minutos a 20 °C. Tras un reposo de 24 horas a 4 °C, se repitió el proceso de sonicación y las muestras fueron centrifugadas a 15.000 rpm durante 10 minutos. El sobrenadante obtenido se utilizó para las determinaciones posteriores.

Las medidas se llevaron a cabo utilizando un espectrofotómetro UV-visible (Uvikon XS Bio-Tek Instruments, Saint Quentin Yvelines, Francia).

La capacidad antioxidante se determinó mediante tres métodos analíticos: DPPH, ABTS y FRAP.

- DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl). El sobrenadante del extracto anteriormente citado se mezcló con 40 mL de MeOH y 950 mL de solución DPPH. Tras 10 minutos de reacción, la disminución de la absorbancia se midió a 515 nm (Brand-Williams et al., 1995).
- ABTS⁺ (2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonic acid)). El sobrenadante del extracto se mezcló con 990 mL de ABTS, se dejó reaccionar 10 minutos y se midió a 734 nm (Re et al., 1999).
- FRAP (ferric reducing antioxidant power). Se midió a 593 nm tras reacción de 10 minutos del sobrenadante con 990 mL de reactivo FRAP (Benzie y Strain, 1996).

Las rectas de calibrado para los tres métodos se realizaron con Trolox 10 mM. Todas las determinaciones se realizaron por triplicado y los resultados fueron expresados en mmol Trolox L⁻¹.

El TPC se cuantificó según el método de Folin-Ciocalteu (Gao et al., 2000). El extracto se mezcló con el reactivo de Folin-Ciocalteu y se dejó reposar a 20 °C, 3 minutos, se agregó Na₂CO₃ (preparado al 20 % en disolución acuosa) y se mantuvieron en ausencia de luz durante 1 hora. La absorbancia se midió a 765 nm utilizando el espectrofotómetro anteriormente citado. Se utilizó ácido gálico puro (Sigma) para preparar la recta de calibrado. Las muestras se hicieron por triplicado. Los resultados se expresaron en mg de equivalentes de ácido gálico L⁻¹ (mg GAE L⁻¹).

3.4. ANÁLISIS SENSORIAL

Se realizó un análisis sensorial descriptivo de las 5 variedades de cítricos estudiados. El análisis se llevó a cabo con 10 panelistas entrenados (edades comprendidas entre 25 y 55 años) del grupo de investigación de Calidad y Seguridad Alimentaria de la Universidad Miguel Hernández de Elche. Cada panelista tiene una experiencia de más de 600 horas con una gran variedad de productos, principalmente vegetales.

Se llevaron a cabo tres sesiones de entrenamiento de una hora cada una para entrenar al panel con los atributos sensoriales que describen los cítricos exóticos. Tras estas sesiones, el panel acordó el léxico definido y referenciado en la Tabla 1 para describirlos (Zhao, 2013; Cano-Lamadrid et al., 2018, Sánchez-Bravo et al., 2023).

Tabla 1. Léxico para el análisis sensorial descriptivo de cítricos exóticos

Descripción		Referencia
Amargor	Sabor asociado con la cafeína	1,0 = solución de cafeína a 0.008% 2,0 = solución de cafeína al 0.015%
Acidez	Sabor básico asociado con algunos ácidos orgánicos, especialmente con el ácido cítrico	2,0 = solución de ácido cítrico al 0,043 % 5,0 = solución de ácido cítrico al 0,120 % 7,0 = solución de ácido cítrico al 0,168 %
Dulzor	Sabor básico asociado a la sacarosa	2,0 = solución de sacarosa al 3 % 4,0 = solución de sacarosa al 6 %
Floral	Aroma asociado con las flores, recordando alguna fragancia	4,0 = solución de geraniol 1000 µg L-1
Citrus ID	Compuestos volátiles asociados con el limón o la lima	8,0 = zumo de limón recién exprimido 4,0 = zumo de limón diluido 1:1
Astringencia	Sensación que provoca la contracción de los tejidos bucales	1,5 = solución de aluminio al 0,03 % 2,5 = solución de aluminio al 0,05 % 5,0 = solución de aluminio al 0,1 %
Jugosidad	Propiedad de textura asociada a la cantidad de agua que contiene el alimento	9,0 = zumo de limón recién exprimido 5,0 = pepino crudo; 1,0 = plátano
Fibrosidad	Sensación táctil producida por la textura filamentosa de las paredes internas del gajo que es complicado desintegrar. Se perciben al masticar en la lengua y dientes.	1,0 = solución de ácido tánico al 0,01 % 2,0 = solución de ácido tánico al 0,05 %
Entumecimiento	Se relaciona con ciertos compuestos como algunos flavonoides, ácidos o aceites esenciales que pueden provocar una pérdida de la sensibilidad en la boca (lengua o encías) o también sensación de hormigueo o suave anestesia	3,0 = 1 pastilla para la tos Halls sin azúcar con sabor a miel y limón/300 mL de agua hirviendo

3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Todos los datos obtenidos fueron procesados a través del programa XLSTAT (Versión 2016.02.27444, Addinsoft, Paris, Francia). Se realizaron análisis de varianza (ANOVA) y el test de rangos múltiples de Tukey para analizar las diferencias significativas entre las variedades estudiadas. Las diferencias se consideraron significativas a tres niveles: (i) $p < 0.05$ (*), (ii) $p < 0.01$ (**) y (iii) $p < 0.001$ (***).





4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA

Los resultados de la caracterización físico-química de los frutos bajo estudio se muestran en las Tablas 2 y 3 y en la Gráfica 1. En la Tabla 2 se expone el resultado promedio de los 36 frutos analizados (excepto de la mano de buda) de los parámetros: peso, medidas de diámetros y espesor de la corteza, acidez, SST, pH e índice de madurez. El limón Fino 49 es el que mostró mayor peso (147,79 g), seguido del limón rosado y la lima Bears, siendo el caviar cítrico, el que presentó el menor peso (16,28 g). La misma tendencia encontramos en cuanto a los diámetros ecuatorial y longitudinal, aunque los resultados en la ratio diámetro longitudinal/ecuatorial, el cual nos da información acerca de lo redondos y homogéneos que son los frutos, es diferente, ya que el limón rosado es el más redondo, seguido de la lima Bearss, el limón Fino 49 y por último el caviar cítrico, que es el que posee una forma más alargada.

Tabla 2. Peso de los frutos (g), diámetros ecuatorial y longitudinal (mm), ratio diámetros ecuatorial/longitudinal, espesor de la corteza (mm), acidez titulable (g ác. cítrico L⁻¹), sólidos solubles totales (°Brix), pH e índice de madurez.

	ANOVA†	Lima Bears	Caviar cítrico	Limón rosado	Limón Fino 49
Peso	***	106,69 b‡	16,28 c	115,04 b	147,79 a
Diámetro ecuatorial	***	55,61 b	25,71 c	57,42 b	63,13 a
Diámetro longitudinal	***	63,78 b	44,81 c	60,64 b	78,62 a
Ratio long/ecuat	***	1,15 c	1,75 a	1,06 d	1,25 b
Espesor corteza	***	2,99 b	0,88 c	5,99 a	6,11 a
Acidez titulable	*	72,26 ab	78,53 a	73,93 ab	69,42 b
SST	***	9,40 b	13,10 a	9,27 b	9,03 b
pH	NS	2,80	2,94	2,84	2,95
Índice de madurez	*	1,30 b	1,67 a	1,25 b	1,30 b

†ANOVA: NS: sin diferencias significativas, *, ** y *** denotan diferencias significativas a $p < 0.05$, 0.01 y 0.001 respectivamente. ‡ Según el test de Tukey, datos seguidos de la misma letra en cada fila (valores medios de 36 muestras) indican que no hay diferencias significativas ($p < 0.05$).

En cuanto al espesor de la corteza, las dos muestras de limones son los que tienen un mayor espesor de corteza, seguidos de la lima Bears, siendo el

caviar cítrico el que mostró el menor espesor, con una diferencia entre el mayor y el menor valor de más de 5 mm.

Los resultados anteriormente reportados aportan conocimiento a los productores a cerca de la caracterización de estos frutos, lo que les puede ayudar a clasificarlos para su venta, ya que tradicionalmente, los cítricos se han catalogado por su tamaño y forma, considerándose de mayor calidad los más grandes y redondeados para su consumo en fresco (Aguilar-Hernández et al., 2021), pero en el caso de estos cítricos exóticos, se debe tener en consideración otros aspectos que son los que les aportan la diferenciación en el mercado, como puede ser su acidez o dulzor característico.

En lo concerniente a la acidez titulable, el caviar cítrico es el que presentó un mayor valor (78,53 g ác. cítrico L⁻¹), seguido del limón rosado y la lima Bears; mientras que el limón Fino 49 presentó la menor acidez (69,42 g ác. cítrico /L).

Con respecto al contenido en SST, el caviar cítrico también fue el que presentó la mayor concentración de SST (13,10 °Brix), por lo que, la relación de estos dos parámetros, que se tienen en cuenta para el cálculo del índice de madurez, hace que el caviar cítrico sea el que presenta un mayor valor (1,64). El valor de pH no mostró diferencias estadísticas significativas entre las variedades.

En la Tabla 3 se encuentran los resultados del perfil de ácidos orgánicos y azúcares. Los ácidos orgánicos encontrados en las variedades estudiadas fueron: el cítrico, el málico y el ascórbico, y los azúcares, glucosa y fructosa. El mismo perfil fue encontrado en un estudio que caracterizó tres variedades de cítrico en peligro de extinción, Ojós 1 lima dulce, Ojós 1lima ácida y Ojós 1 limón dulce (Cano-Lamadrid et al., 2018) y muy similar en otro que estudió 3 variedades de limón (Fino 95, Fino 49 y Verna) sobre diferentes portainjertos (*Citrus macrophylla* y *Citrus aurantium*) (Aguilar-Hernández et al., 2021).

La mano de buda fue la que menor concentración de ácidos orgánicos presentó. El caviar cítrico destacó por su alto contenido en ácido cítrico (4,52 g

Tabla 3. Perfil de ácidos orgánicos y azúcares expresados en g 100 mL⁻¹

	ANOVA [†]	Mano de buda	Lima Bearss	Caviar cítrico	Limón rosado	Limón Fino 49
Ácidos orgánicos						
Ácido cítrico	***	0,13 c [‡]	4,24 b	4,52 a	4,24 b	4,25 b
Ácido málico	***	0,18 b	0,73 a	0,36 b	0,74 a	0,60 a
Ácido ascórbico	***	0,01 c	0,05 b	0,05 b	0,05 b	0,07 a
Azúcares						
Glucosa	***	4,72 b	8,72 a	8,80 a	8,67 a	8,60 a
Fructosa	***	3,48 a	3,44 a	1,82 c	3,00 ab	2,83 b

[†]ANOVA: *** denotan diferencias significativas a $p < 0.001$. [‡] Según el test de Tukey, datos seguidos de la misma letra en cada fila (valores medios de 36 muestras) indican que no hay diferencias significativas ($p < 0.05$).

100 mL⁻¹); mientras que el limón rosado (0,73 g 100mL⁻¹), la lima Bears (0,73 g 100 mL⁻¹) y el limón Fino 49 (0,59 g 100 mL⁻¹), mostraron las mayores concentraciones de ácido málico. En lo concerniente al ácido ascórbico, se hallaron concentraciones en las variedades bajo estudio de 0,01 g 100 mL⁻¹ en la mano de buda, la cual obtuvo la cuantía más baja, seguida de la lima Bearss, el caviar cítrico y el limón rosado con 0,05 g 100 mL⁻¹; por último, el limón fino 49 fue el que presentó una mayor concentración con 0,07 g 100 mL⁻¹. Otros autores encontraron resultados superiores de ácido ascórbico en el zumo de otras variedades de lima (*Citrus limetta* y *Citrus reticulata*), concretamente 0,11 y 0,15 g 100 mL⁻¹ (Damián-Reyna et al., 2017).

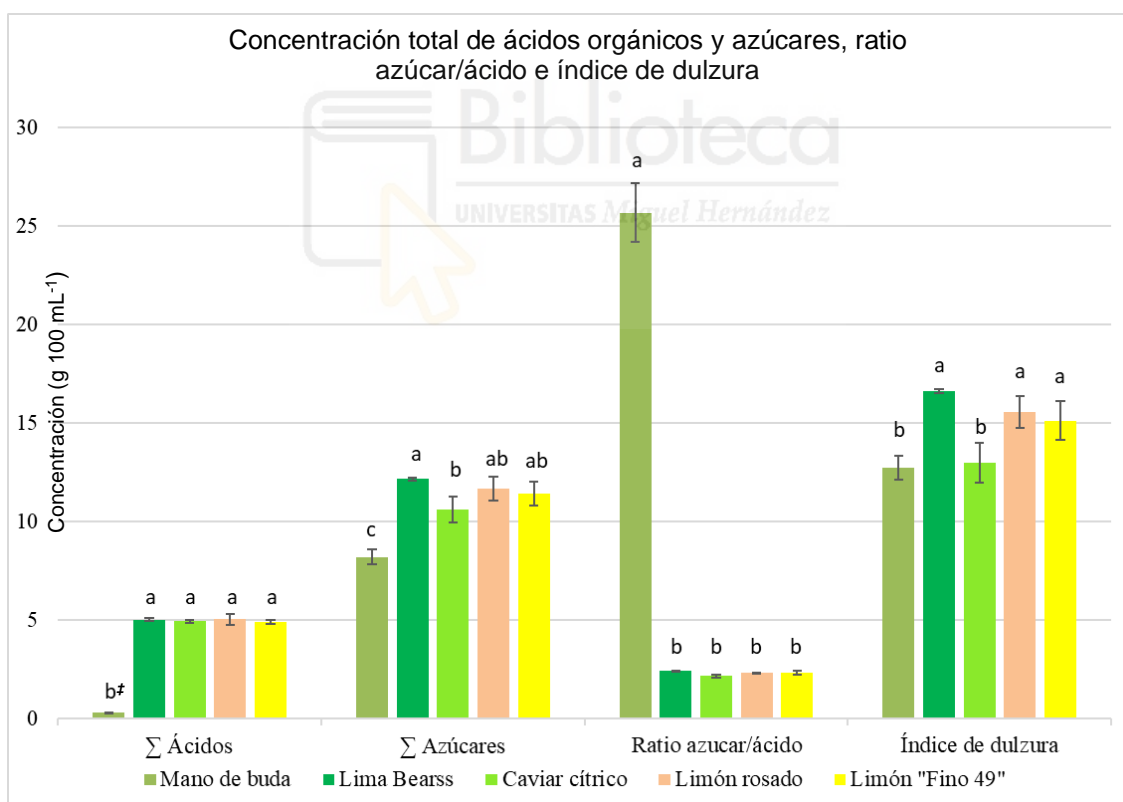
En el caso del limón rosado, en un estudio de diferentes variedades de cítricos se encontraron valores superiores a los hallados en el presente, concretamente, de ácido ascórbico se reportó un valor de 0.24 g kg⁻¹ y de ácido cítrico de 58.91 g kg⁻¹ (Polat et al., 2025).

En el caviar cítrico se han encontrado valores de 46 a 58 mg g⁻¹ de ácido cítrico y de 0,26 a 0,91 mg g⁻¹ de ácido ascórbico en diferentes caviars cítricos (amarillo, rojo, verde y rosa) (Delort y Yuan, 2018). Estos datos se alinean con los hallados en el presente estudio y contextualizan notablemente bien con los reportados por Delort y Yuan (2018) en su revisión bibliográfica, en la que indica que el ácido cítrico es el mayoritario del caviar cítrico, tal y como ocurre en el

perfil detallado en esta investigación. Delort y Yuan (2018) también destaca el contenido moderado de ácido ascórbico del caviar cítrico, que, aunque varía entre diferentes variedades de caviar cítrico, le confiere un potencial antioxidante destacable a este cítrico.

Cabe destacar que, excepto en la mano de buda, el ácido cítrico es el predominante en todas las variedades estudiadas, lo que coincide no solo con estudios previos en cítricos (Nour et al., 2010), sino también en otras variedades de frutas (Khosravi et al., 2015). Al estudiar el contenido total de ácidos orgánicos de los cítricos bajo análisis, sólo difiere estadísticamente la mano de buda con una suma mucho menor que los demás (Gráfica 1).

Gráfica 1. Contenido total de ácidos orgánicos y azúcares ($\text{g } 100 \text{ mL}^{-1}$), ratio azúcar/ácido e índice de dulzura.



\ddagger La misma letra en cada determinación indica que no hay diferencias significativas (valores promedio de 3 muestras de zumo de 12 frutos cada uno) entre muestras cuando $p < 0.05$ según el test de Tukey.

En relación al perfil de azúcares, la glucosa fue el azúcar predominante en todos los cítricos estudiados, aunque la mano de buda es la que presenta una menor concentración con respecto a los demás (4,72 g 100 mL⁻¹). La fructosa, en cambio, fue el azúcar mayoritario en la mano de buda y la lima Bearss, seguida del limón rosado y del Fino 49; mientras que el caviar cítrico fue el que presentó el menor contenido.

Con respecto al contenido total en azúcares, destaca la lima Bearss con un contenido total de 12,16 g 100 mL⁻¹, mientras que el menor contenido total de azúcares lo presentó la mano de buda (8,20 g 100 mL⁻¹).

En cuanto a la ratio azúcar/ácido, la mano de buda es la que más destaca por su baja acidez. Por el contrario, en el índice de dulzura, son la lima Bearss y el limón Fino 49 y el limón rosado los que obtienen valores más altos, superando a la mano de buda y al caviar cítrico. Polat et al., (2025) reportaron valores de azúcares en el limón rosado de 12,75 g kg⁻¹ de sacarosa, 7,16 g kg⁻¹ de glucosa y 7,99 g kg⁻¹ de fructosa, valores muy superiores a los encontrados en nuestro estudio; estas diferencias pueden deberse al estado de madurez de los frutos.

4.2. CAPACIDAD ANTIOXIDANTE Y CONTENIDO TOTAL DE FENOLES

En la Tabla 4 se muestran los resultados de capacidad antioxidante y TPC de las variedades estudiadas. La mano de buda presentó los valores más altos, con una capacidad antioxidante de 87,03 mmol Trolox L⁻¹ en el ensayo DPPH· y un TPC de 254,72 mg GAE L⁻¹. Para las demás muestras, las concentraciones de TPC obtenidas fueron estadísticamente iguales entre sí.

Los resultados destacan a la mano de buda como la especie con mayor capacidad antioxidante y contenido fenólico. Al comparar con la literatura, los valores encontrados para la mano de buda en DPPH· (87,03 mmol Trolox L⁻¹) son notablemente superiores a los reportados para limón Fino 49, el cual mostró 3,1 mmol Trolox L⁻¹ en DPPH· y un TPC de 85,5 mg GAE L⁻¹ (Sánchez-Bravo et al., 2023).

Tabla 4. Capacidad antioxidante ABTS⁺, DPPH[·] y FRAP (mmol Trolox L⁻¹) y contenido total de polifenoles (TPC) (mg GAE L⁻¹)

	ANOVA [†]	Mano de buda	Lima Bearss	Caviar cítrico	Limón rosado	Limón Fino 49
ABTS ⁺	***	17,86 a [‡]	0,57 b	0,64 b	0,86 b	1,21 b
DPPH [·]	***	87,03 a	1,10 b	3,88 b	1,03 b	1,54 b
FRAP	***	23,05 a	2,03 b	1,30 b	1,89 b	4,20 b
TPC	***	254,72 a	43,78 b	57,16 b	53,32 b	64,07 b

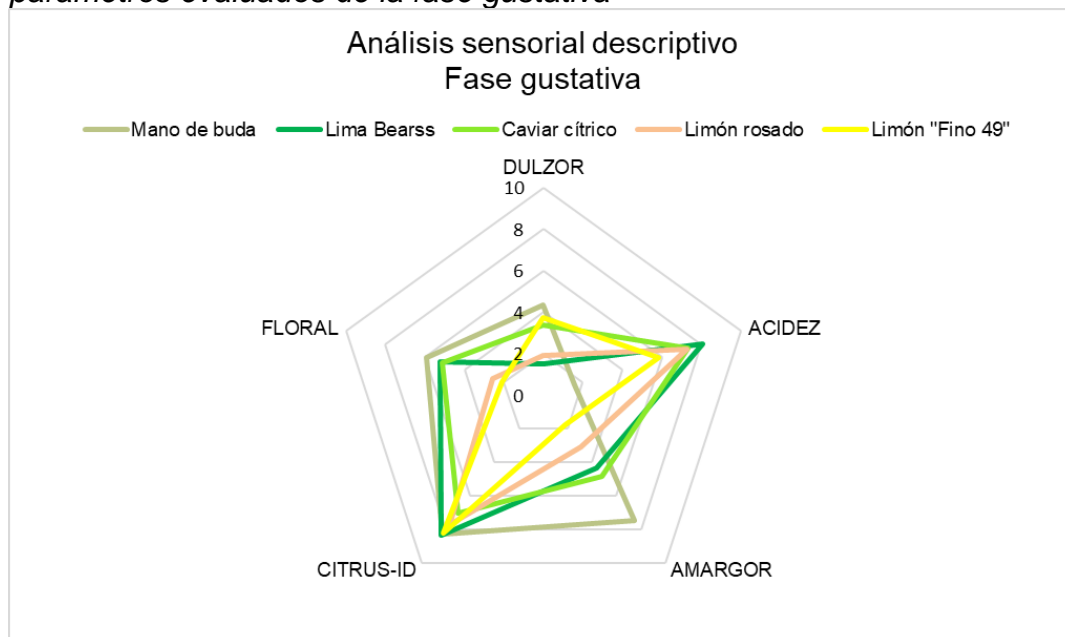
[†]ANOVA: *** denotan diferencias significativas a $p < 0.001$. [‡] Según el test de Tukey, datos seguidos de la misma letra en cada fila (valores medios de 36 muestras) indican que no hay diferencias significativas ($p < 0.05$).

En cuanto al TPC, el valor de la mano de buda (254,72 mg GAE L⁻¹) es inferior al documentado para una variedad de lima dulce (786 mg GAE L⁻¹) (Damián-Reyna et al., 2017) y para el limón rosado (550 mg GAE 100 g⁻¹) (Polat et al., 2025), quien también destacó con un 92,74% de inhibición de DPPH en su estudio. Para el caviar cítrico, la literatura reporta valores menores, con un TPC entre 6 y 12 $\mu\text{mol g}^{-1}$ (Delort y Yuan, 2018). Esta comparación evidencia la variabilidad en el potencial bioactivo según la especie y variedad cítrica.

4.3. ANÁLISIS SENSORIAL

En la Gráfica 2 se puede observar los resultados obtenidos por el panel de cata en cuanto a la fase gustativa de las 5 variedades bajo estudio. A primera vista, destaca que todos siguen un patrón similar excepto la mano de buda, en la que la acidez es mucho más baja que en el resto, mientras que en el amargor destaca sobre los demás. La mano de buda también es el que tiene una puntuación de dulzor (4,3), floral (5,9) y citrus-ID (8,3) más elevada que los demás. Para el atributo de la acidez, es la Lima Bearss la que destaca sobre los demás con una puntuación de 8,1.

Gráfica 2. Resultados del análisis sensorial descriptivo mostrando los parámetros evaluados de la fase gustativa



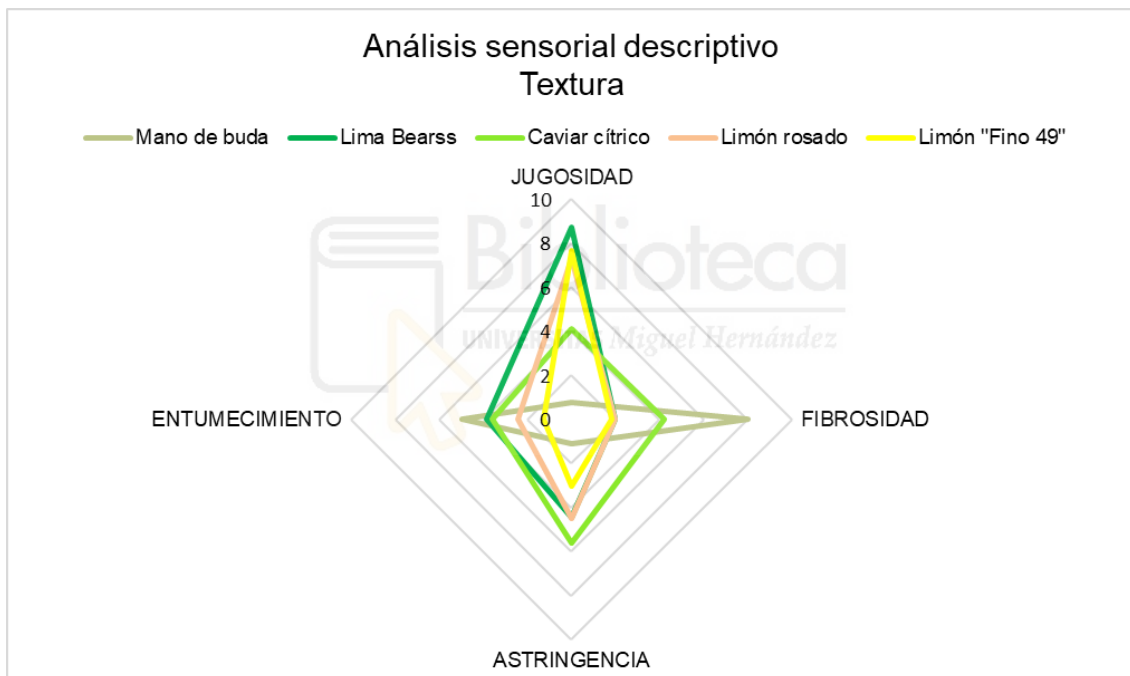
En referencia a la mano de buda, Xu et al., (2024) evaluaron tres muestras secas de diferentes regiones, encontrando atributos como floral (de 2 a 5,8 puntos), dulzor (de 2 a 4 puntos) y citrus (de 8 a 9,5 puntos), valores similares a los encontrados en este estudio.

En cuanto al limón Fino 49, Sánchez-Bravo et al., (2023) encontraron valores de dulzor de 2,5, acidez de 4,6, amargor de 5,1 y citrus ID de 5,1.

Con respecto al caviar cítrico, Johnson et al., (2025) recogen en su revisión bibliográfica de cítricos nativos de Australia las diferentes anotaciones a cerca del aroma que se han hecho para el caviar cítrico. Específicamente, se indica que es descrita como "lime-like", agradable y con un perfume distintivo. Además, indica las diferencias que hay entre el caviar de piel verde y roja, en concreto, el primero muestra un aroma más característico de los cítricos frescos, pero también notas de cítrico "cocinado", mientras que los segundos se distinguen por su aroma más fermentado. Ambos presentan una sutil astringencia y amargor. Las vesículas redondas explotan en la boca al masticarlas dejando una sensación de jugosidad única.

La gráfica 3 muestra los resultados del análisis sensorial descriptivo de las 5 variedades estudiadas con respecto a los parámetros de textura. Se puede observar una tendencia similar al de la gráfica 2, ya que la mano de buda sigue un patrón totalmente diferente. La mano de buda es la especie con mayor fibrosidad (8,0) y entumecimiento (4,9), mientras que presentó la menor jugosidad (0,8) y astringencia (1,1). En cambio, la lima Bearss fue la más jugosa (8,7), seguida del limón Fino 49 y el limón rosado. El caviar cítrico destaca por su astringencia (5,6), aunque es el que muestra una textura más equilibrada con respecto a los 4 parámetros evaluados.

Gráfica 3. Resultados del análisis sensorial descriptivo mostrando los parámetros de textura evaluados.



5. CONCLUSIONES



En relación con la **caracterización físico-química de los frutos**, se observaron diferencias significativas entre las variedades estudiadas. El limón fino 49 presentó la menor acidez y destacó por su elevada capacidad antioxidante, mientras que la lima Bearss mostró la mayor concentración total de azúcares, lo que se tradujo en una elevada jugosidad y una acidez sensorialmente marcada. El limón rosado presentó valores físico-químicos similares al limón fino 49, aunque con un perfil más equilibrado.

Respecto al **perfil de ácidos orgánicos y azúcares**, los resultados permitieron establecer diferencias claras entre los cítricos analizados. La lima Bearss destacó por su mayor contenido en azúcares, mientras que el equilibrio entre azúcares y ácidos del caviar cítrico y del limón rosado contribuyó a un perfil sensorial más armónico, reflejado en una relación azúcar/ácido favorable para el consumo.

En cuanto a la **capacidad antioxidante**, todas las variedades estudiadas presentaron actividad antioxidante relevante. El limón fino 49 destacó por su alto potencial antioxidante, mientras que en la lima Bearss el método FRAP fue el que mostró los valores más elevados. El caviar cítrico y el limón rosado también evidenciaron una capacidad antioxidante notable, lo que refuerza su interés desde el punto de vista funcional.

Finalmente, el **análisis sensorial descriptivo** permitió identificar diferencias claras en sabor y textura entre las variedades. El caviar cítrico fue valorado como el más equilibrado sensorialmente, destacando su estructura de vesículas, que le confiere un alto atractivo para el consumidor. La lima Bearss se caracterizó por una acidez y jugosidad pronunciadas, mientras que el limón rosado mostró un perfil sensorial equilibrado, manteniendo características funcionales similares al limón fino 49.



6. BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar-Hernández, M.G., Núñez-Gómez, D., Forner-Giner, D., Hernández, F., Pastor-Pérez, M.Á. y Legua, P. (2021). Quality parameters of Spanish lemons with commercial interest. *Foods*, 10(1). DOI: 10.3390/foods10010062
- Ancillo, G. y. Medina, A. (2015). Los Cítricos. *Monografías Botánicas. Jardín Botánico de la Universidad de Valencia*. ISBN: 978-84-370-9553-0.
- Aznar, R., Rodríguez-Pérez, C. y Rai, D.K. (2022). Comprehensive Characterization and Quantification of Antioxidant Compounds in Finger Lime (*Citrus australasica* L.) by HPLC-QToF-MS and UPLC-MS/MS. *Applied Sciences*, 12(3): 1712. DOI: 10.3390/app12031712
- Benzie, I.F.F. y Strain, J.J. (1996). The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a Measure of "Antioxidant Power": The FRAP Assay. *Analytical Biochemistry*, 239(1): 70-76. DOI: <https://doi.org/10.1006/abio.1996.0292>
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M.E. y Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, 28(1): 25-30. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)
- Cano-Lamadrid, M., Hernández, F., Corell, M., Burló, F., Legua, P., Moriana, A. y Carbonell-Barrachina, Á.A. (2017). Antioxidant capacity, fatty acids profile, and descriptive sensory analysis of table olives as affected by deficit irrigation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(2): 444-451. DOI: 10.1002/jsfa.7744
- Cano-Lamadrid, M., Lipan. L., Hernández, F., Martínez, J.J., Legua, P., Carbonell-Barrachina, Á.A. y Melgarejo, P. (2018). Quality Parameters, Volatile Composition, and Sensory Profiles of Highly Endangered Spanish Citrus Fruits. *Journal of Food Quality*, 2018(1): 3475461. DOI: <https://doi.org/10.1155/2018/3475461>

- Damián-Reyna, A.A., González-Hernández, J.C., Maya-Yescas, R., Cortés-Penagos, C.J. y Chávez-Parga, M.C. (2017). Polyphenolic content and bactericidal effect of Mexican Citrus limetta and Citrus reticulata. *Journal of Food Science and Technology*, 54(2): 531-537. DOI: 10.1007/s13197-017-2498-7.
- Delort, E. y Yuan Y.M. (2018). Finger lime/The Australian Caviar— *Citrus australasica*. Exotic Fruits. *Elsevier* 203-210. ISBN: 9780128031384.
- Díaz Yubero, I. (2013). Frutas. Alimentos con Historia. *Distribución y Consumo*, 3(42).
- El-Sayed, M., Al-Gendy, A.M., Hamdan, D. y El Sahzly, A. (2017). Phytoconstituents, LC-ESI-MS profile, antioxidant and antimicrobial activities of citrus X limon L. Burm. F. cultivar variegated pink lemon. *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 9: 375-391.
- FAOSTAT (2025). Organización de las Naciones Unidas para Alimentación y la Agricultura. 2025, from <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL/visualize>.
- Gao, X., Ohlander, M., Jeppsson, N., Björk, L y Trajkovski, V. (2000). Changes in Antioxidant Effects and Their Relationship to Phytonutrients in Fruits of Sea Buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) during Maturation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(5): 1485-1490. DOI: 10.1021/jf991072g
- Hamdan, D., Ashour, M., Mulyaningsih, S., El Sahzly, A. y Wink, M. (2013). Chemical Composition of the Essential Oils of Variegated Pink-Fleshed Lemon (*Citrus x limon* L. Burm. f.) and their Anti-Inflammatory and Antimicrobial Activities. *Zeitschrift fur Naturforschung C*, 68: 275-284. DOI: 10.5560/ZNC.2013.68c0275
- Ibañez, V., García-Usach, A., Carbonell-Caballero, J., Alonso, R., Terol, J., Dopazo, J. y Talón, M. (2015). El origen de las especies cultivadas de cítricos. *Levante Agrícola: Revista Internacional de Cítricos* 426: 74-79.

ITP-CitrusID. "Identification Technology Program. Citrus ID.". Consultada en Julio de 2025

https://idtools.org/citrus_id/index.cfm?packageID=1179&entityID=8896.

IVIA (2014). Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias. Las Buenas Prácticas en la Horticultura Ornamental. VI Jornadas Ibéricas de Horticultura Ornamental. *Actas de Horticultura* 68. ISBN: 978846173029-9.

IVIA (2025). Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias. Banco de germosplasma de cítricos. Consultada en Julio 2025. <https://ivia.gva.es/es/banco-de-germoplasma-de-citricos>.

Johnson, J.B., Hungerford, B. L., Sultanbawa, Y. y Netzel, M.E. (2025). Unlocking the Sublime: A Review of Native Australian Citrus Species. *Foods* 14(14): 2425. DOI: doi:10.3390/foods14142425

Khosravi, F., Rastakhiz, N., Iranmanesh, B., y Olia, S. (2015). Determination of Organic Acids in Fruit juices by UPLC. *International Journal of Life Sciences* 9. DOI: 10.3126/ijls.v9i5.12690

MAPA (2025). Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Análisis de la campaña de cítricos 2024/2025. Accedido en Diciembre 2025, <https://www.mapa.gob.es/dam/mapa/contenido/agricultura/temas/producciones-agricolas/frutas-y-hortalizas/frutas-y-hortalizas/informecampana2024-25citricossep24-feb25.pdf>.

Mira-García, A. B., Conesa, M.R., Conejero, W., Vera, J. y Ruiz-Sánchez, M.C. (2024). Combined effect of water deficit and shading on lime tree water status, yield and fruit quality. *Acta Horticulturae* 1409 (305-314) DOI: 10.17660/ActaHortic.2024.1409.40

Nour, V., Ion, T. y Mira, E.I. (2010). HPLC Organic Acid Analysis in Different Citrus Juices under Reversed Phase Conditions. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 38. DOI: 10.15835/nbha3814569.

- Polat, Y., Cimen, B., Celik, F., Ekşi, E., Koc, G., Ercisli, S., Assouguem, A., Aberkani, K., Iqbal, Z., Mohan, C. y Kafkas, N., E. (2025). Comparative analysis of fruit quality parameters and volatile compounds in commercially grown citrus cultivars. *Open Chemistry* 23(1).DOI: <https://doi.org/10.1515/chem-2024-0107>.
- Re, R., Pellegrini, A., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M. y Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine* 26(9): 1231-1237. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(98)00315-3)
- Reyna-Gonzales, K., Pesantes-Gallardo, M.G., Huamán-Grandez, E.O., Valdivia-Culqui, J. E., Paredes-Tarrillo, F.A., Raymundo-Vasquez, P.A., Medina-Mendoza, M., Cayo-Colca, I.S., Quispe-Neyra, J., Maicelo-Quintana, J.L., Castro-Alayo, E.M. y Balcázar-Zumaeta, C.R. (2024). Physicochemical properties of sweet limes (*Citrus limetta*) during storage at different temperatures. *Food Science and Preservation* 31(5): 709-720. DOI: 10.11002/fsp.2024.31.5.709
- Roussos, P.A., Tsafouros, A., Ntanos, E., Denaxa, N-K., Kosta, A. y Bouchagier, P. (2021). Could black anti-hail net have an extra role as an amelioration agent against heat stress in kiwifruit? *Journal of Berry Research* 12 (1). DOI: <https://doi.org/10.3233/JBR-211512>
- Sammama, A., Sammama, H. y Bengueddour, R. (2025). Determination and investigation of phenolic compounds in Citrus pulps and zests by Ultra-high performance liquid chromatography. *Analytical Methods in Environmental Chemistry Journal* 8 (1): 78-99. DOI: 10.24200/amecj.v8.i01.1006.
- Sánchez-Bravo, P., Martínez-Tomé, J., Hernández, F., Sendra, E. y Noguera-Artiaga, L. (2023). Conventional vs. Organic: Evaluation of Nutritional, Functional and Sensory Quality of *Citrus limon*. *Foods* 12 (23): 4304.

- Sun, Y., Zheng, J., Zhang, T., Chen, M., Li, D., Liu, R., Li, X., Wang, H. y Sun, T. (2024). Review of polysaccharides from *Citrus medica* L. var. sarcodactylis. (Fingered citron): Their extraction, purification, structural characteristics, bioactivity and potential applications. *International Journal of Biological Macromolecules* 282: 136640. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.136640>.
- WFO (2024). The World Flora Online. Accedido en Julio 2025. <https://www.worldfloraonline.org/taxon/wfo-0000607946#distributionMap>.
- Xu, Y., Yao, L., Wang, Y., Shen, J., Chen, D. y Feng, T. (2024). Comparative analysis of the aromatic profiles of citri sarcodactylis fructus from various geographical regions using GC-IMS, GC-MS, and sensory evaluation. *Food Bioscience* 58: 103752. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.103752>.
- Yang, J. Park, M.J. (2025). Antioxidant Effects of Essential Oils from the Peels of Citrus Cultivars. *Molecules* 30 (4). DOI: 10.3390/molecules30040833.
- Zhao, G., Liu, Y., Sun, B., Guo, C., Wang, M., y Peng, Q. (2013). A novel method for evaluating the mouthfeel of spicy compounds based on texturometer and sensory evaluation. *Journal of Sensory Studies* 28 (5): 371-381.
- Zou, Z., Xi, W., Hu, Y., Nie, C. y Zhou, Z. (2016). Antioxidant activity of Citrus fruits. *Food Chemistry* 196: 885-896. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.09.072>.