Jullius Abner García Montenegro Y Aldo Jose Del C...

EVALUACIÓN DE LA HIDRATACIÓN POR INMERSIÓN DE NARANJAS (Citrus sinensis L.) ENTERAS DESECADAS SOMETI...

Quick Submit

Quick Submit

Universidad Nacional de Jaen

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid:::1:3529919629

Fecha de entrega
7 abr 2026, 10:10 a.m. GMT-5

Fecha de descarga
7 abr 2026, 10:38 a.m. GMT-5

Nombre del archivo
O_CESPEDES_-_INFORME_FINAL_-_JULLIUS_ABNER_GARC_A_MONTENEGRO.pdf

Tamaño del archivo
1.3 MB

73 páginas

21.854 palabras

107.304 caracteres

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN
Dr. Alexander Huamán Mera
Responsable de la Unidad de Investigación
de la Facultad de Ingeniería

3% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Coincidencias menores (menos de 15 palabras)

Fuentes principales

1% Fuentes de Internet
1% Publicaciones
2% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.° de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN
Dr. Alexander Huamán Mera
Responsable de la Unidad de Investigación
de la Facultad de Ingeniería

Fuentes principales

1% Fuentes de Internet
1% Publicaciones
2% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Fuentes principales

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1 Internet
newportal.unj.edu.pe <1%

2 Trabajos del estudiante
Higher Education Commission Pakistan <1%

3 Publicación
Lu, Zeng-bin, Dao-feng Dong, Bing Yang, Li-li Li, Yi Yu, Fang Ouyang, Feng Ge, Vija... <1%

4 Trabajos del estudiante
National Technical University of Athens <1%

5 Trabajos del estudiante
Universidad Cesar Vallejo <1%

6 Internet
repositorio.unj.edu.pe <1%

7 Internet
repositorio.ufsm.br <1%

8 Trabajos del estudiante
unj <1%

9 Internet
www.coursehero.com <1%

10 Trabajos del estudiante
Universiti Putra Malaysia <1%

11 Internet
edepot.wur.nl <1%

12 Internet

riunet.upv.es <1%

13 Internet

www.atlantis-press.com <1%

14 Trabajos del estudiante

Universidad Nacional de Jaen <1%

15 Internet

repositorio.untrm.edu.pe <1%

16 Internet

sired.udenar.edu.co <1%

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

EVALUACIÓN DE LA HIDRATACIÓN POR INMERSIÓN DE NARANJAS (*Citrus sinensis* L.) ENTERAS DESECADAS SOMETIDAS A DIFERENTES TEMPERATURAS, PRESIONES Y TIEMPOS

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Autores: Bach. Jullius Abner García Montenegro

Bach. Aldo Jose del Carmen Severino Cespedes

Asesores: Dr. Ralph Stein Rivera Botonares

Dr. Ernesto Hernández Martínez

Línea de investigación: LI_IIA_03 Ingeniería de procesos alimentarios

JAÉN – PERÚ, MARZO, 2026

ÍNDICE

RESUMEN 9
ABSTRACT 10
I. INTRODUCCIÓN 11
II. MATERIAL Y MÉTODOS 14
2.1. Lugar de ejecución 14
2.2. Materiales 14
2.3. Población, Muestra y Muestreo 15
2.3.1. Población 15
2.3.2. Muestra 15
2.3.3. Muestreo 15
2.4. Métodos, técnicas, procedimientos e instrumentos de recolección de datos 16
2.4.1. Diferencia de peso de la naranja hidratada 16
2.4.2. Diferencia del diámetro de la naranja hidratada 16
2.4.3. Humedad de la cáscara 17
2.4.4. Volumen relativo de jugo de la naranja en función al peso 17
2.4.5. Análisis del pH 17
2.4.6. Análisis de los °Brix 18
2.4.7. Análisis de la acidez titulable 18
2.5. Diseño experimental 19
2.6. Análisis de datos 21
III. RESULTADOS 22
3.1. Análisis de las variables dependientes de la hidratación de la naranja 24
3.2. Cinética de hidratación de las variables independientes 26
3.2.1. Cinética de hidratación de la diferencia de peso (%) 26
3.2.2. Cinética de hidratación del diámetro polar (%) 27
3.2.3. Cinética de hidratación del diámetro ecuatorial (%) 28

3.2.4. Cinética de hidratación de la humedad de la cáscara (%) de la naranja 29
3.2.6. Cinética de hidratación del pH 31
3.2.7. Cinética de hidratación de los °Brix 32
3.2.8. Cinética de hidratación de la acidez titulable 33
3.3. Análisis de componentes principales 34
IV. DISCUSIÓN 36
4.1. Variables físicas 36
4.2. Variables químicas 38
4.3. Cinética de hidratación y análisis multivariado 40
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 42
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 44
DEDICATORIA 50
AGRADECIMIENTO 51
ANEXOS 52

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. *Tratamientos del estudio* 19
Tabla 2. *Valores promedios de las variables dependientes* 23
Tabla 3. *Diferencia porcentual del peso de las naranjas durante la desecación y la hidratación a 5 °C al cuarto día* 66
Tabla 4. *Diferencia porcentual del peso de las naranjas durante la desecación y la hidratación a 15 °C al cuarto día* 66
Tabla 5. *Diferencia porcentual del diámetro polar de las naranjas durante la desecación y la hidratación a 5 °C al cuarto día* 67
Tabla 6. *Diferencia porcentual del diámetro polar de las naranjas durante la desecación y la hidratación a 15 °C al cuarto día* 67
Tabla 7. *Diferencia porcentual del diámetro ecuatorial de las naranjas durante la desecación y la hidratación a 5 °C al cuarto día* 68
Tabla 8. *Diferencia porcentual del diámetro ecuatorial de las naranjas durante la desecación y la hidratación a 15 °C al cuarto día* 68
Tabla 9. *Variación porcentual del contenido de humedad de la cáscara de las naranjas durante la desecación y la hidratación a 5 °C al cuarto día* 69
Tabla 10. *Variación porcentual del contenido de humedad de la cáscara de las naranjas durante la desecación y la hidratación a 15 °C al cuarto día* 69
Tabla 11. *Variación porcentual del volumen relativo de jugo de las naranjas durante la desecación y la hidratación a 5 °C al cuarto día* 70
Tabla 12. *Variación porcentual del volumen relativo de jugo de las naranjas durante la desecación y la hidratación a 15 °C al cuarto día* 70
Tabla 13. *Variación del pH de las naranjas durante la desecación y la hidratación a 5 °C al cuarto día* 71
Tabla 14. *Variación del pH de las naranjas durante la desecación y la hidratación a 15 °C al cuarto día* 71
Tabla 15. *Variación de los °Brix de las naranjas durante la desecación y la hidratación a 5 °C al cuarto día* 72
Tabla 16. *Variación de los °Brix de las naranjas durante la desecación y la hidratación a 15 °C al cuarto día* 72
Tabla 17. *Variación porcentual de la acidez titulable de las naranjas durante la desecación y la hidratación a 5 °C al cuarto día* 73

Tabla 18. *Variación porcentual de la acidez titulable de las naranjas durante la desecación y la hidratación a 15 °C al cuarto día*.....73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. *Representación gráfica del proceso hidratación de la presión hidrostática mediante columnas de agua* 15
Figura 2. *Esquema experimental de la investigación* 20
Figura 3. *Cinética de hidratación de la diferencia de peso (%) de la naranja a diferentes condiciones de hidratación* 27
Figura 4. *Cinética de hidratación del diámetro polar (%) bajo condiciones diferentes de hidratación* 28
Figura 5. *Cinética de hidratación del diámetro ecuatorial (%) bajo condiciones diferentes de hidratación* 29
Figura 6. *Cinética de hidratación de la humedad de la cáscara (%) a diferentes condiciones de hidratación* 30
Figura 7. *Cinética de hidratación del volumen relativo de jugo (%) a diferentes condiciones de hidratación* 31
Figura 8. *Cinética de hidratación del pH a condiciones diferentes de hidratación* 32
Figura 9. *Cinética de hidratación de los °Brix a condiciones diferentes de hidratación* 33
Figura 10. *Cinética de hidratación de la acidez titulable a diferentes condiciones de hidratación* 34
Figura 11. *Análisis de componentes principales* 35

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. *Galería fotográfica del proceso de hidratación de las naranjas* 52
Anexo 2. *Determinación de las variables físicas de la naranja hidratada* 53
Anexo 3. *Determinación de las variables químicas de la naranja hidratada* 54
Anexo 4. *Valores experimentales de las variables fisicoquímicas durante la hidratación sometidas a distintas condiciones de temperatura, presión hidrostática y tiempo* 55
Anexo 5. *Efectos principales de los factores y sus interacciones de las variables de estudio* 59
Anexo 6. *Interacciones dobles entre los niveles de los factores* 60
Anexo 7. *Interacciones triples entre los niveles de los factores* 61
Anexo 8. *Ajuste polinómico de la diferencia de peso (%) y estimación del valor al cuarto día de hidratación* 62
Anexo 9. *Ajuste polinómico de la diferencia del diámetro polar (%) y estimación del valor al cuarto día de hidratación* 62
Anexo 10. *Ajuste polinómico de la diferencia del diámetro ecuatorial (%) y estimación del valor al cuarto día de hidratación* 63
Anexo 11. *Ajuste polinómico del contenido de humedad en la cáscara (%) y estimación del valor al cuarto día de hidratación* 63
Anexo 12. *Ajuste polinómico del volumen relativo de jugo (%) y estimación de su valor al cuarto día de hidratación* 64
Anexo 13. *Ajuste polinómico del pH y estimación de su valor al cuarto día de hidratación* . 64
Anexo 14. *Ajuste polinómico de los °Brix y estimación de su valor al cuarto día de hidratación* 65
Anexo 15. *Ajuste polinómico de la acidez titulable y estimación de su valor al cuarto día de hidratación* 65
Anexo 16. *Efecto de las combinaciones de temperatura y presión sobre el peso de las naranjas durante la desecación y la hidratación al cuarto día* 66
Anexo 17. *Efecto de las combinaciones de temperatura y presión sobre el diámetro polar de las naranjas durante la desecación y la hidratación al cuarto día* 67
Anexo 18. *Efecto de las combinaciones de temperatura y presión sobre el diámetro ecuatorial de las naranjas durante la desecación y la hidratación al cuarto día* 68
Anexo 19. *Efecto de las combinaciones de temperatura y presión sobre el contenido de humedad de la cáscara de las naranjas durante la desecación y la hidratación al cuarto día* 69

Anexo 20. *Efecto de las combinaciones de temperatura y presión sobre el volumen relativo de jugo de las naranjas durante la desecación y la hidratación al cuarto día* 70
Anexo 21. *Efecto de las combinaciones de temperatura y presión sobre el pH del zumo de las naranjas durante la desecación y la hidratación al cuarto día* 71
Anexo 22. *Efecto de las combinaciones de temperatura y presión sobre los °Brix del zumo de las naranjas durante la desecación y la hidratación al cuarto día* 72
Anexo 23. *Efecto de las combinaciones de temperatura y presión sobre la acidez titulable del zumo de las naranjas durante la desecación y la hidratación al cuarto día* 73

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar los efectos de la temperatura (5 y 15 °C), la presión hidrostática (2.94 kPa, 5.88 kPa y 8.83 kPa) y el tiempo de hidratación (1 a 4 días) sobre las características fisicoquímicas de la naranja variedad criolla previamente desecada, durante su hidratación por inmersión. Se analizaron como variables físicas la diferencia porcentual del peso, los diámetros polar y ecuatorial, la humedad de la cáscara y el volumen relativo de jugo, así como las variables químicas del jugo, tales como el pH, el °Brix y la acidez titulable. Los resultados mostraron que la hidratación favorece significativa la recuperación de las propiedades físicas del fruto, destacando el tratamiento T2 (5°C * 60 cm * día 4), evidenciando un incremento del peso (40.31 %), del diámetro polar (12.04 %), diámetro ecuatorial (10.14 %) y la humedad de la cáscara (86.98 %), mientras que el volumen relativo de jugo presentó una ligera tendencia al incremento a 15 °C (44.03 – 47.13 %). Las variables químicas (pH, °Brix y acidez titulable) mostraron una recuperación parcial, sin restituirse por completo respecto al estado fresco. El análisis multivariado (PCA) determinó que la combinación de menor temperatura con la presión intermedia hacia al cuarto día favorece una recuperación parcial de la estructura celular, reflejada en el incremento del peso, el diámetro y la humedad de la cáscara. En conclusión, la hidratación bajo condiciones controladas de temperatura, presión hidrostática y el tiempo favorece la restitución de las propiedades físicas de las naranjas desecadas, sin modificar de manera significativa sus características químicas.

Palabras clave: hidratación, desecación, propiedades fisicoquímicas, cinética de hidratación, análisis multivariado.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the effects of temperature (5 and 15 °C), hydrostatic pressure (2.94 kPa, 5.88 kPa, and 8.83 kPa), and rehydration time (1 to 4 days) on the physicochemical characteristics of previously dried Criolla oranges during rehydration by immersion. The physical variables analyzed included the percentage change in weight, polar and equatorial diameters, peel moisture content, and relative juice volume, as well as the chemical variables of the juice, such as pH, °Brix, and titratable acidity. The results showed that rehydration significantly favors the recovery of the fruit's physical properties, with treatment T2 (5°C * 60 cm * day 4) standing out, showing an increase in weight (40.31%), polar diameter (12.04%), equatorial diameter (10.14%), and peel moisture content (86.98%), while the relative juice volume showed a slight upward trend at 15 °C (44.03–47.13%). The chemical variables (pH, °Brix, and titratable acidity) showed partial recovery, without fully returning to their fresh state. Multivariate analysis (PCA) determined that the combination of lower temperature with intermediate pressure around the fourth day favors a partial recovery of cell structure, reflected in the increase in weight, diameter, and peel moisture. In conclusion, rehydration under controlled conditions of temperature, hydrostatic pressure, and time promotes the restoration of the physical properties of dried oranges without significantly altering their chemical characteristics.

Keywords: rehydration, drying, physicochemical properties, rehydration kinetics, multivariate analysis.

I. INTRODUCCIÓN

La producción de naranjas en Perú ha incrementado notablemente en los últimos años debido a la alta demanda en el mercado. Este aumento se debe a su contenido nutricional, que incluye vitamina C, antioxidantes y compuestos bioactivos beneficiosos para la salud (Altemio et al., 2025). En particular en la región Cajamarca, se han registrado niveles altos de producción de naranja durante los dos últimos años, con un incremento del 17.6% en 2025 respecto a 2024, al pasar de 4609 a 5421 t, según el Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (2026, p. 40); asimismo, las condiciones climáticas y la creciente demanda por parte de los consumidores han favorecido positivamente el aumento de producción de esta fruta.

Sin embargo, la alta producción de naranjas, sumada a los tiempos prolongados de transporte, así como los impactos, compresiones mecánicas durante su manipulación y al inadecuado almacenamiento cuando no se consideran las temperaturas óptimas de conservación, favorecen la rápida desecación de la naranja, lo que conlleva a la separación de estas y en consecuencia las pérdidas económicas y de calidad, afectando directamente a los productores y consumidores (Bhattarai et al., 2013; Lipinska et al., 2019).

La deshidratación de las naranjas no solo genera merma, sino también pérdidas económicas para los productores, influyendo en el precio de venta. Cuando las naranjas se desecan pierden una cantidad significativa de agua, ocasionando una disminución de su peso y en consecuencia su valor comercial, en comparación con las naranjas conservadas. Las pérdidas de naranjas se producen principalmente en las etapas de almacenamiento y transporte hacia los comerciantes, registrándose pérdidas que varían entre 7 – 9 % por tonelada, lo que representa económicamente entre S/ 20.00 – S/ 25.00 por tonelada (Pérez Romero et al., 2020).

Ante esta problemática se han desarrollado diversas estrategias de control microbiológico, químico y mecánico, orientado a mitigar el impacto generado por el desperdicio. Las cuales se han puesto en práctica en el campo, generalmente después de la cosecha, mediante prácticas como el lavado, la clasificación, ayudando a minimizar las pérdidas causadas por el deterioro microbiológico. De la misma manera, se han dispuesto estrategias para el traslado de las frutas, considerando factores esenciales como la temperatura y la humedad relativa, para preservar la calidad comercial de la fruta (Palumbo et al., 2022; Rajapakshe et al., 2026).

A pesar de las medidas implementadas, la desecación sigue siendo un problema frecuente debido a las características fisicoquímicas de la naranja (Gidado et al., 2024). La desecación se debe principalmente a la pérdida de un alto porcentaje de agua, lo que se refleja en la

disminución de peso y afecta directamente su valor comercial. Frente a esta problemática, se han desarrollado diversas investigaciones con el fin de evaluar métodos que reduzcan los efectos de la deshidratación.

Desde la perspectiva de sostenibilidad, la industria alimentaria continúa presentando pérdidas postcosecha, muchas veces generadas por deshidratación natural de los alimentos. Esta situación constituye una preocupación para las empresas debido al impacto negativo en la calidad y a la disminución de su valor comercial. Por ello, la reducción de residuos alimentarios se considera una de las prácticas más eficientes que favorece directamente al medio ambiente (Mawoneke et al., 2025).

Özkan-Karabacak et al. (2020) analizaron la capacidad de hidratación de rodajas de naranja inmersas en agua destilada, determinando que a temperaturas elevadas hay una mayor hidratación y humedad de la naranja. Asimismo, Marín et al. (2006) evaluaron la cinética de rehidratación de la papaya a temperaturas entre 20 y 80 °C, observando que a temperaturas elevadas hay una mayor capacidad de hidratación, incremento del tamaño y mejora de la apariencia.

Chacha (2011), en su investigación, analizó la capacidad de hidratación de la frutilla deshidratada en base al contenido de sólidos solubles, cuyo valor inicial fue de 9.3 °Brix. Demostrando que, sumergir la frutilla en agua a 40 °C durante 4 - 5 min, su valor se incrementa a 10 °Brix, muy cercano al de la frutilla fresca (10.15 °Brix), lo que indica que el agua permite una mayor capacidad de hidratación y un aumento de los sólidos solubles.

En un estudio realizado por Zura-Bravo et al. (2013) observaron que hidratar manzanas a temperaturas de 20 y 40 °C produjo efectos positivos en la capacidad de hidratación, el contenido de humedad y la recuperación de parámetros de color. Mientras que someter a temperaturas iguales o superiores a 60 °C provoca efectos negativos en la cinética de hidratación, debido a posibles alteraciones del tejido vegetal.

Sin embargo, la mayoría de las investigaciones se han enfocado en estudios de frutas deshidratadas cortadas en forma de rodajas, evaluando principalmente el efecto de la temperatura durante el proceso de hidratación. Por lo tanto, existe información limitada de la hidratación por inmersión de frutas enteras desecadas, en particular de la naranja variedad criolla, considerando simultáneamente factores como la temperatura, presión hidrostática y el tiempo de hidratación. Además de la aplicación de la presión hidrostática generada por las

columnas de agua, que pueden favorecer la infiltración del agua en el tejido vegetal durante el proceso de hidratación.

El uso de la técnica de hidratación por inmersión se presenta como una alternativa para mitigar los efectos de la desecación de las frutas, ya que mediante este proceso se puede lograr una restitución parcial del contenido de agua, evitando una pérdida significativa de su peso y de su valor comercial (Strano et al., 2022). De esta manera, el proceso de hidratación contribuye a la reducción de pérdidas económicas asociadas a la desecación de la fruta.

El método de hidratación por inmersión permite garantizar el contacto directo entre la naranja y el medio de hidratación, lo que facilita un control más preciso de la temperatura y del tiempo de evaluación (Teruel et al., 2003). La aplicación de este método contribuye a preservar las propiedades organolépticas del fruto, como el sabor, la textura, el olor y el color, así como a restaurar parcialmente sus propiedades físicas respecto al estado de la fruta fresca, dependiendo del proceso de secado al que hayan sido sometidas (Marín et al., 2006).

La evaluación de las propiedades fisicoquímicas (diferencia de peso, diámetros polar y ecuatorial, humedad de la cáscara, volumen relativo de jugo, pH, °Brix y acidez titulable) se realizó mediante un análisis estadístico en Microsoft Excel y con el complemento XLSTAT. Este análisis permitió identificar el tratamiento más eficiente para restaurar la calidad del fruto hidratado (Bahamón-Monje et al., 2025). La aplicación de estas técnicas contribuye a reducir las pérdidas para los productores y a mejorar la calidad y aceptación comercial (Rizzo, 2025).

Por lo tanto, ¿Cuál es el efecto en las características fisicoquímicas aplicando temperatura, presión y tiempo en la hidratación por inmersión de naranjas (*Citrus sinensis* L.) enteras desecadas?

1 El objetivo general de la investigación consistió en evaluar las características fisicoquímicas de la hidratación de las naranjas variedad criolla, enteras desecadas sometidas a diferentes temperaturas, presiones y tiempos. Asimismo los objetivos específicos fueron, analizar las variables físicas correspondientes a la diferencia del peso, diámetro de la naranja, humedad de la cáscara de naranja hidratada y el volumen relativo de jugo sometida a diferentes 1 temperaturas, presiones y tiempos; analizar las variables químicas correspondientes al pH, °Brix y acidez titulable de la naranja entera desecada e hidratada en función a diferentes temperaturas, presiones y tiempos; e interpretar las variables fisicoquímicas mediante la aplicación de la cinética de hidratación y técnica de análisis multivariado.

II. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Lugar de ejecución

La investigación se llevó a cabo en las instalaciones de la Universidad Nacional de Jaén, específicamente en el Laboratorio de Tecnología de Alimentos y en el Laboratorio de Química de la Escuela Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias. La zona de estudio se realizó en la ciudad de Jaén, en la región de Cajamarca, a una altitud de 729 m.s.n.m.

2.2. Materiales

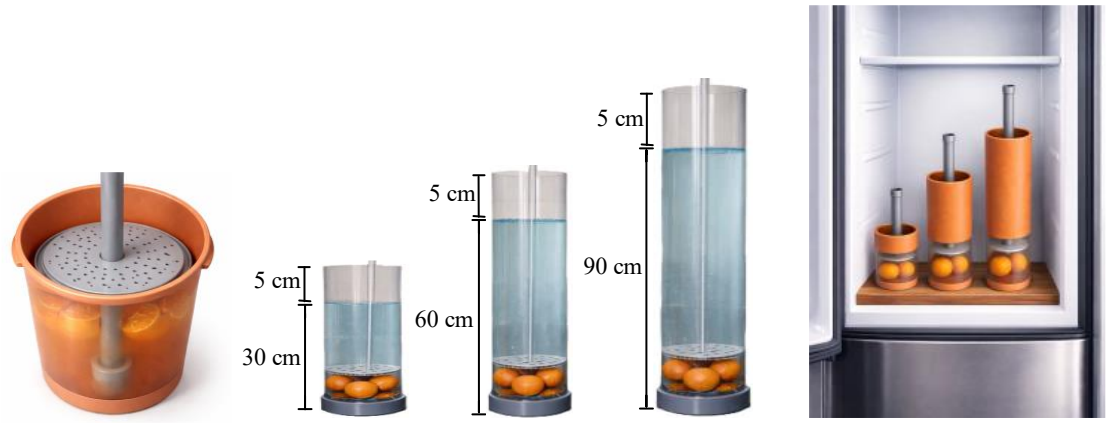
Para el proceso de hidratación se utilizaron naranjas criollas provenientes del distrito de Cumba, provincia de Utcubamba, y agua potable de la empresa EPS Marañón. Se diseñaron y construyeron sistemas hidráulicos conformados por tubos de plástico de 6 pulgadas, con sus respectivos tapones de PVC colocados en posición vertical.

Para la evaluación de la presión hidrostática, se utilizaron tubos de plástico de 6 pulgadas de diámetro. Los tubos fueron cortados en longitudes de 35, 65 y 95 cm, con la finalidad de permitir un margen adicional para mejorar el control del nivel de agua y colocar el sistema de sujeción, y fueron llenados hasta una altura de 30, 60 y 90 cm. Para evitar que las muestras subieran a la superficie, se construyó una tapa perforada que permitió el libre flujo del agua y mantuvo las naranjas en el fondo del sistema.

La presión ejercida sobre las naranjas secas estuvo determinada por la altura del tubo, de acuerdo a la ecuación de la presión hidrostática: $P = \rho * g * h$, donde ρ es la densidad del agua (1000 kg/m^3); g es la gravedad (9.8 m/s^2) y h es la altura de la columna, que fue la variable experimental. Por lo tanto, la presión estuvo determinada por la altura de la columna de agua que fue de 2.94 kPa, 5.88 kPa y 8.83 kPa equivalente a 30, 60 y 90 cm respectivamente.

Figura 1

Representación gráfica del proceso hidratación de la presión hidrostática mediante columnas de agua



Nota: (a) Tapa perforada que mantuvo las naranjas en el fondo del sistema (tubo), evitando que la flotación; (b) Representación de los cortes de los tubos en las tres alturas de la columna de agua (30, 60 y 90 cm), equivalente a presiones hidrostáticas de 2.94 kPa, 5.88 kPa y 8.83 kPa respectivamente; (c) Proceso de hidratación en la refrigeradora a 5 °C y 15 °C. Imágenes generadas mediante DALL·*E 3* (OpenAI, 2026).

2.3. Población, Muestra y Muestreo

2.3.1. Población

Las naranjas criollas provinieron del fundo del señor Alvaro Ramírez ubicado en el centro poblado de Trapichillo perteneciente al distrito de Cumba, en la provincia de Utcubamba, departamento de Amazonas, con una altitud de 485 m.s.n.m.

2.3.2. Muestra

Para los experimentos se necesitaron 120 naranjas de variedad criolla, donde se consideró la capacidad de los tubos, el número de tratamientos y los análisis realizados.

2.3.3. Muestreo

El muestreo fue por conveniencia; se seleccionaron las naranjas que se encontraron en mejores condiciones, enteras, sanas, homogéneas en tamaño y

forma y con madurez visual. Además, todas las naranjas fueron provenientes de la misma planta, parcela y fueron cosechadas el mismo día.

La cosecha se realizó de manera fraccionada, de acuerdo al número de repeticiones. Para cada repetición, se utilizaron 20 naranjas; se realizaron 3 repeticiones para 5 °C y 15 °C. En total se utilizaron 120 naranjas en el estudio.

2.4. Métodos, técnicas, procedimientos e instrumentos de recolección de datos

El proceso de hidratación se llevó a cabo en una refrigeradora Oster, a temperaturas de 5 °C y 15 °C para los tratamientos. Las mediciones de las variables fisicoquímicas se realizaron en triplicado y los resultados se expresaron como valores promedios.

2.4.1. Diferencia de peso de la naranja hidratada

Para determinar la diferencia de peso de la naranja hidratada entera en comparación al peso inicial de las naranjas desecadas, se utilizó una balanza electrónica (OHAUS – Gold Series, Estados Unidos) expresando los resultados en porcentaje, con la finalidad de obtener un valor exacto de la diferencia de peso (Magaña Benítez et al., 2013). Se realizó utilizando la ecuación 1:

$$\Delta\, Peso\ (\%) = \frac{Peso\ post\ inmersión\ - Peso\ inicial}{Peso\ inicial} \times 100 \qquad (1)$$

Donde:

Peso post inmersión: Peso de la naranja hidratada.
Peso inicial: Peso de la naranja desecada (último día de secado)

2.4.2. Diferencia del diámetro de la naranja hidratada

Para la evaluación del diámetro polar y ecuatorial de la naranja entera, se utilizó un equipo calibrador de vernier o pie de rey para obtener una medida precisa de la naranja hidratada. La diferencia del diámetro se calculó con la ecuación 2 y se expresó los resultados en porcentaje:

$$\Delta\, Diámetro\ (\%) = \frac{D\ post\ inmersión\ - D\ inicial}{D\ inicial} \times 100 \qquad (2)$$

Donde:

D post inmersión: Diámetro polar o ecuatorial de la naranja hidratada.
D inicial: Diámetro polar o ecuatorial de la naranja desecada (último día de secado)

2.4.3. Humedad de la cáscara

La humedad se determinó mediante el método termogravimétrico/infrarrojo descrito por Janas y Kowalska (2023). Para ello se separó la cáscara de la naranja de la pulpa residual, seguidamente se cortó en cubos de aproximadamente 1 x 1 cm. Posteriormente se pesaron 3 g de muestra cortada y se colocaron en la balanza de humedad (SARTORIUS - MA35M-000230V1, Alemania). La muestra se sometió a un proceso de calentamiento a 105 °C durante 40 min, al finalizar el tiempo, se leyeron los resultados expresados en porcentaje de humedad.

2.4.4. Volumen relativo de jugo de la naranja en función al peso

El volumen relativo de jugo (%) en función al peso se determinó mediante el método descrito por Trappey et al. (2008), que consiste en extraer el líquido mediante un exprimidor eléctrico (Oster - FPSTJU4176 - China). Para calcular el volumen, se midió en una probeta de 100 mL, mientras que para la determinación del peso se empleó una balanza electrónica (OHAUS – Gold Series, Estados Unidos).

La ecuación 3 fue utilizada para determinar el porcentaje de volumen relativo de jugo:

$$Volumen \text{ relativo de jugo } (\%) = \frac{Volumen\ de\ jugo\ (mL)}{Peso\ de\ naranja\ hidratada\ (g)} \times 100 \qquad (3)$$

Donde:

El volumen relativo de jugo (%) representa el rendimiento de jugo extraíble respecto al peso de la naranja hidratada, expresado en mililitros por cada 100 g, como indicador de eficiencia del proceso de hidratación.

2.4.5. Análisis del pH

La determinación del pH se realizó según el método AOAC 981.12 (AOAC, 2000b). Se utilizó una muestra de 50 mL de zumo obtenido mediante el exprimido de naranjas hidratadas. La medición se realizó mediante el pHmetro digital (HANNA INSTRUMENTS- HI-5321, Estados Unidos), previamente calibrado con los buffers estándar de pH 4.01, 7.01 y 10.01.

2.4.6. Análisis de los °Brix

Se evaluó mediante el método AOAC 932.12 (AOAC, 2000a). Consistió en extraer muestras de 2 ml del zumo de las naranjas hidratadas utilizando un gotero para posteriormente tomar la lectura utilizando un refractómetro óptico de mano con rango de medición de 0 – 32° (LINK RHB - 32BPATC, China). Los resultados se expresaron en °Brix.

2.4.7. Análisis de la acidez titulable

La determinación de la acidez titulable se realizó según el método AOAC 942.15 (AOAC, 2005), adaptado para la dilución. Se extrajo 25 mL de zumo de la naranja hidratada y se diluyó en un fiola de 100 mL, agregando agua destilada hasta la marca y homogeneizando. Seguidamente se extrajo en un alícuota 25 mL de la solución diluida y se vertió en un Matraz Erlenmeyer, donde se adicionaron 25 mL más de agua destilada para facilitar la titulación.

Posteriormente se añadieron las 3 gotas de fenolftaleína como indicador. Seguidamente, se midió gota a gota con el hidróxido de sodio (NaOH) hasta que se observara un cambio de color, el cual debe persistir 30 s aproximadamente para dar concluida la titulación. La acidez se realizó por triplicado y se expresa en la ecuación 4:

$$Acidez\ titulable\ (\%) = \frac{PE \times N \times V_{NaOH} \times V_{fiola}}{10 \times V_m \times V} \quad (4)$$

Donde:

PE: Peso equivalente del ácido cítrico (64.04 g/eq)

N: Normalidad del NaOH (0.1430)

V_{NaOH}: Volumen del gasto de NaOH (mL)

V_{fiola} : Volumen de la dilución (100 mL)

V_m : Volumen de la muestra inicial (25 mL de zumo)

V: Volumen de la alícuota titulada (25 mL)

10: Factor de conversión para expresar en %

2.5. Diseño experimental

El presente estudio corresponde a una investigación aplicada, ya que se busca resolver un problema práctico mejorando el proceso de hidratación de naranjas; y es de tipo cuantitativo, debido a que se procesaron los datos estadísticos obtenidos a través del análisis de varianza (ANOVA).

El diseño experimental aplicado corresponde a un diseño factorial completamente aleatorizado de tres variables independientes, con el propósito de evaluar los efectos de la temperatura, presión hidrostática y el tiempo de hidratación sobre características fisicoquímicas de las naranjas previamente desecadas a temperatura ambiente por 7 días bajo sombra: diferencia porcentual de peso, de diámetro de la naranja entera, humedad de la cáscara de la naranja hidratada, volumen relativo de jugo, pH, °Brix y acidez titulable correspondiente al zumo.

Los factores evaluados, temperatura (5 °C y 15 °C), presión hidrostática (30 cm, 60 cm y 90 cm, equivalente a 2.94 kPa, 5.88 kPa y 8.83 kPa respectivamente) y el tiempo de hidratación (1, 2, 3 y 4 días)

Cada combinación de los factores independientes constituyó un tratamiento específico, tal como se presenta en la Tabla 1. El estudio se realizó con tres naranjas independientes para cada tratamiento, ya que varías determinaciones requerían mediciones destructivas de la muestra (humedad de la cáscara, volumen relativo de jugo, pH, °Brix y acidez titulable). Por ello, cada día se analizaron frutos distintos para asegurar la independencia de las observaciones. El diseño fue de 2 x 3 x 4 x 3, lo que generó un total de 72 unidades experimentales (Anexo 2).

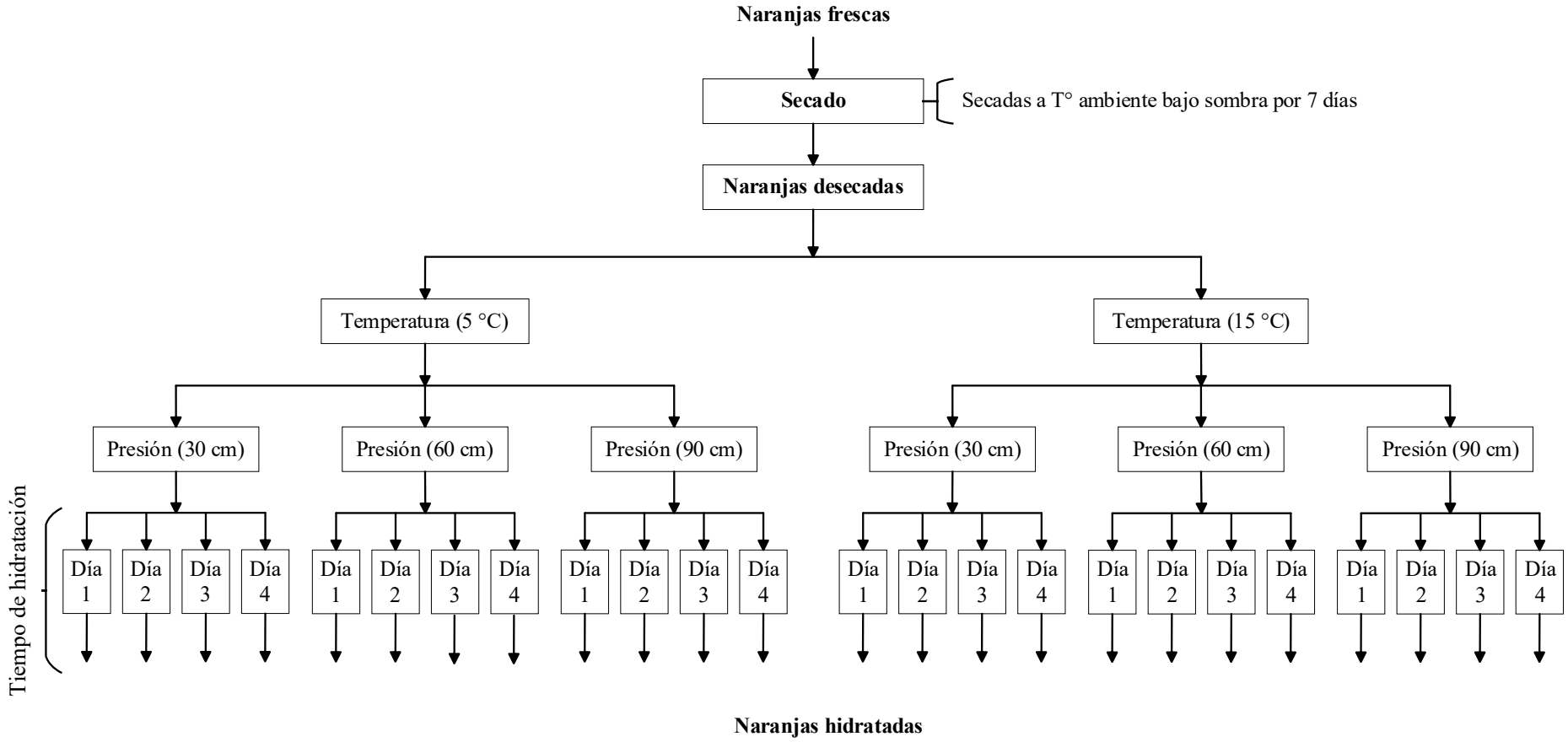
Tabla 1

Tratamientos del estudio

Tratamientos	Variables independientes		
	Temperatura	Presión hidrostática	Tiempo
T1	5 °C	30 cm	Día 1, Día 2, Día 3, Día 4
T2	5 °C	60 cm	Día 1, Día 2, Día 3, Día 4
T3	5 °C	90 cm	Día 1, Día 2, Día 3, Día 4
T4	15 °C	30 cm	Día 1, Día 2, Día 3, Día 4
T5	15 °C	60 cm	Día 1, Día 2, Día 3, Día 4
T6	15 °C	90 cm	Día 1, Día 2, Día 3, Día 4

Figura 2

Esquema experimental de la investigación



Nota: La combinación entre la temperatura, presión hidrostática y el tiempo de hidratación constituye un tratamiento, por ejemplo: T1 (5 °C * 30 cm * Día 1)

2.6. Análisis de datos

Se realizó el análisis de datos para cada una de las variables dependientes: diferencia porcentual del peso, del diámetro de la naranja, humedad de la cáscara de la naranja hidratada, volumen relativo de jugo, pH, °Brix y acidez titulable correspondiente al zumo de la naranja. Los resultados para cada una de las variables fueron evaluados mediante un análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de confiabilidad del 95 %, aplicado a los tratamientos. Posteriormente, se aplicó la prueba Tukey para ANOVA, en caso de encontrarse diferencias estadísticas entre los tratamientos ($p < 0.05$).

El estudio incluyó los efectos principales de temperatura, presión hidrostática y tiempo de hidratación, así como sus interacciones dobles y triples, las cuales se expresaron como medias ajustadas (LS Means ± Error estadístico - EE), determinadas igualmente mediante la prueba Tukey al 5 % de significancia.

Adicionalmente, se evaluó la cinética de hidratación de las naranjas en función a la combinación de los factores de temperatura, presión hidrostática y el tiempo de hidratación. Para ello, se elaboraron gráficas bidimensionales entre las variables dependientes, en las que se presentaron seis curvas correspondientes a las seis combinaciones experimentales. En el estudio se aplicó el modelo de regresión polinómica de segundo grado a las variables dependientes (Aslan, 2024). El modelo polinómico se expresó en la ecuación 5:

$$y = a + b(t) + c(t)^2 \quad (5)$$

Donde: y representa la variable evaluada, t el tiempo de hidratación (días) y a, b, c los coeficientes del modelo.

Finalmente, se realizó un análisis multivariado - PCA (León González et al., 2008); representándose en biplots bidimensionales que muestran la correlación de las variables y la distribución de los tratamientos, lo que permite visualizar patrones de asociación múltiple. El procesamiento estadístico se efectuó utilizando el programa Microsoft Excel, con el complemento de XLSTAT.

III. RESULTADOS

En el marco de la investigación, se presentan los resultados obtenidos en relación con los objetivos específicos. En la Tabla 2 se muestran los resultados de la hidratación de las naranjas a lo largo del tiempo, bajo diferentes condiciones de temperatura y presión hidrostática, expresados como valores promedio ± EE (Error estándar) de las variables físicas (diferencia de peso, diámetro polar y ecuatorial, humedad de la cáscara y volumen relativo de jugo) y variables químicas (pH, °Brix y acidez titulable).

Las medidas aritméticas y el error estándar se obtuvieron a partir de las tres repeticiones experimentales realizadas entre los factores de temperatura, presión hidrostática y el tiempo de hidratación.

Tabla 2

Valores promedios de las variables dependientes

Temperatura (°C)	Presión hidrostática (cm)	Tiempo (días)	Δ Peso (%)	Δ Diámetro polar (%)	Δ Diámetro ecuatorial (%)	Humedad de cáscara (%)	Volumen relativo de jugo (%)	pH	°Brix	Acidez titulable (%)
5	30	1	0.27 ± 0.10	0.23 ± 0.07	0.68 ± 0.34	69.40 ± 1.33	49.99 ± 0.67	3.65 ± 0.01	8.87 ± 0.58	1.23 ± 0.11
5	30	2	6.93 ± 6.61	1.41 ± 0.08	2.75 ± 1.76	73.56 ± 3.34	36.68 ± 7.83	3.69 ± 0.07	9.63 ± 0.83	1.48 ± 0.07
5	30	3	18.70 ± 8.07	7.04 ± 3.36	4.17 ± 1.56	77.22 ± 3.71	35.87 ± 2.90	3.62 ± 0.08	10.40 ± 0.31	1.77 ± 0.09
5	30	4	15.58 ± 14.56	4.45 ± 2.69	5.63 ± 3.24	72.66 ± 5.96	41.21 ± 5.11	3.68 ± 0.14	9.90 ± 0.31	1.62 ± 0.07
5	60	1	4.57 ± 3.83	1.90 ± 1.36	2.11 ± 1.75	65.42 ± 1.65	42.34 ± 1.75	3.61 ± 0.21	9.20 ± 0.64	1.52 ± 0.05
5	60	2	10.38 ± 5.07	4.73 ± 2.36	1.91 ± 0.86	73.04 ± 0.75	39.21 ± 3.25	3.79 ± 0.03	8.90 ± 0.90	1.28 ± 0.16
5	60	3	16.67 ± 16.08	4.24 ± 2.90	4.49 ± 3.68	74.99 ± 6.34	39.74 ± 3.96	3.77 ± 0.09	7.83 ± 0.33	1.43 ± 0.27
5	60	4	40.31 ± 3.51	12.04 ± 2.03	10.14 ± 1.57	86.98 ± 0.46	35.60 ± 2.56	3.71 ± 0.19	8.50 ± 1.15	1.46 ± 0.20
5	90	1	8.44 ± 8.23	1.80 ± 1.44	1.75 ± 1.06	72.82 ± 5.22	43.87 ± 1.51	3.55 ± 0.06	9.77 ± 0.28	1.59 ± 0.07
5	90	2	0.80 ± 0.24	1.10 ± 0.48	0.70 ± 011	65.35 ± 0.79	43.60 ± 2.05	3.61 ± 0.11	9.40 ± 0.70	1.65 ± 0.07
5	90	3	1.13 ± 0.29	2.11 ± 0.15	1.05 ± 0.21	66.58 ± 1.24	44.43 ± 1.84	3.55 ± 0.05	9.37 ± 0.68	1.67 ± 0.09
5	90	4	1.18 ± 0.50	2.30 ± 1.07	1.45 ± 0.04	69.42 ± 2.39	44.49 ± 2.01	3.51 ± 0.13	10.20 ± 0.10	1.60 ± 0.07
15	30	1	0.75 ± 0.25	0.84 ± 0.25	0.45 ± 0.20	63.98 ± 0.54	47.13 ± 1.31	3.44 ± 0.05	10.67 ± 1.20	1.43 ± 0.07
15	30	2	1.70 ± 0.84	1.17 ± 0.29	1.03 ± 0.10	67.79 ± 1.11	46.61 ± 0.50	3.45 ± 0.04	9.60 ± 0.21	1.59 ± 0.25
15	30	3	1.86 ± 0.56	1.75 ± 0.15	1.20 ± 0.16	67.02 ± 0.73	44.64 ± 0.37	3.47 ± 0.06	9.30 ± 0.67	1.39 ± 0.22
15	30	4	10.67 ± 5.34	5.65 ± 2.04	3.62 ± 1.14	72.93 ± 4.22	44.42 ± 0.50	3.46 ± 0.03	10.10 ± 0.06	1.44 ± 0.14
15	60	1	0.86 ± 0.17	1.13 ± 0.39	0.47 ± 0.05	63.36 ± 2.12	45.17 ±1.43	3.34 ± 0.12	10.77 ± 1.52	1.58 ± 0.30
15	60	2	1.00 ± 0.22	1.38 ± 0.27	0.71 ± 0.09	61.94 ± 0.53	46.10 ± 1.65	3.47 ± 0.09	10.00 ± 0.00	1.61 ± 0.40
15	60	3	2.11 ± 0.70	1.71 ± 0.45	1.14 ± 0.11	62.89 ± 0.90	45.50 ± 1.26	3.38 ± 0.06	9.23 ± 0.12	1.71 ± 0.37
15	60	4	4.85 ± 1.32	3.02 ± 0.80	3.39 ± 1.74	72.54 ± 2.19	44.52 ± 1.70	3.36 ± 0.07	8.83 ± 0.38	1.66 ± 0.39
15	90	1	0.77 ± 0.02	1.08 ± 0.27	0.43 ± 0.06	63.69 ± 0.57	47.02 ± 1.13	3.34 ± 0.08	10.60 ± 1.31	1.65 ± 0.30
15	90	2	1.95 ± 0.67	2.30 ± 0.33	0.84 ± 0.15	64.70 ± 2.94	44.03 ± 1.66	3.39 ± 0.13	9.80 ± 0.46	1.68 ± 0.35
15	90	3	1.90 ± 0.34	2.89 ± 0.78	1.43 ± 0.08	68.01 ± 0.31	44.93 ± 1.55	3.44 ± 0.09	8.97 ± 0.39	1.58 ± 0.31
15	90	4	18.23 ± 0.06	5.51 ± 3.46	5.88 ± 4.10	71.12 ± 4.33	43.60 ± 6.40	3.49 ± 0.06	9.17 ± 0.09	1.53 ± 0.27

Nota: Los valores se presentan como promedio ± EE (error estándar) de las tres repeticiones (n = 3).

En la Tabla 2, respecto a las variables físicas, se observa que alcanzan su máximo valor al día cuatro de hidratación en la combinación de 5 °C y 60 cm de presión. La diferencia de peso presentó el mayor incremento (40.31 %) en comparación con 15 °C (18.23 %). De manera similar, los diámetros polares (12.04 %) y ecuatorial (10.14 %) mostraron mayores aumentos a 5 °C, mientras que a 15 °C se registraron incrementos moderados en los diámetros polar (3.02 – 5.65 %) y ecuatorial (3.39 – 5.88 %). Asimismo, el contenido de humedad de la cáscara alcanzó su máximo valor a 5 °C (86.98 %), en comparación con 15 °C, donde se mantuvo en un rango de 71.12 – 72.93 %. En contraste el volumen relativo de jugo, mostró un comportamiento distinto, ya que a 15 °C presentó una ligera tendencia al incremento (44.03 – 47.13 %).

Por su parte, las variables químicas presentaron comportamientos diversos. El pH (3.51 – 3.79) a 5 °C fue ligeramente mayor (3.34 – 3.49) que a 15 °C. Los °Brix mostraron variaciones moderadas (7.83 – 10.77), evidenciando, en algunos tratamientos, un efecto de dilución de sólidos solubles; y la acidez titulable no mostró una tendencia definida durante la hidratación (1.23 – 1.77), aunque se observaron fluctuaciones leves entre los tratamientos.

3.1. Análisis de las variables dependientes de la hidratación de la naranja

Con base en los datos experimentales que dieron origen a la Tabla 2 y con el objetivo de evaluar la influencia de las variables independientes (temperatura, presión hidrostática y tiempo) y sus interacciones dobles y triples en las características fisicoquímicas de la naranja hidratada, se estimaron las medias mediante el método de mínimos cuadrados (Least Squares Means) a partir de un análisis de varianza (ANVA) multifactorial, seguido de la prueba Tukey con un nivel de confianza del 95 %.

16

En el Anexo 3 se presenta la tabla de interacción simple de los tres factores evaluados. La temperatura influyó significativamente en la diferencia porcentual del peso, del diámetro ecuatorial, del contenido de humedad de la cáscara y del pH, observándose valores más altos a 5 °C ($p < 0.05$). En contraste, el diámetro polar, el volumen relativo de jugo, los °Brix y la acidez titulable no presentaron diferencias significativas entre las temperaturas. Por otro lado, la presión hidrostática no influyó significativamente sobre las variables físicas ni químicas ($p > 0.05$). En cuanto al tiempo de hidratación, este mostró un efecto significativo al cuarto día en el porcentaje de diferencia de peso, la humedad de la cáscara y los diámetros polar y ecuatorial.

En el Anexo 4 se observa que las interacciones dobles entre los factores evaluados influyeron significativamente ($p < 0.05$) en las variables físicas, mientras que las variables químicas mostraron variabilidad entre los tratamientos. En la interacción de la temperatura y presión hidrostática, la combinación de 5 °C y 60 cm mostró los mayores valores en la diferencia de peso (17.98 %), diámetro polar (5.73 %), diámetro ecuatorial (4.66 %) y en el contenido de humedad de la cáscara (75.11 %), y fue estadísticamente superior ante los demás tratamientos (15 °C), lo que indica que temperaturas más altas reducen la capacidad de hidratación.

Respecto a la interacción entre la temperatura y el tiempo de hidratación, se evidencia un incremento progresivo de las variables físicas, alcanzando sus máximos valores al día cuatro a 5 °C, particularmente en la diferencia de peso (19.02 %), diámetro polar (6.26 %), diámetro ecuatorial (5.74 %) y en el contenido de humedad de la cáscara (76.36 %). A 15 °C, los valores fueron inferiores, sin diferencias marcadas entre los días, lo que indica una menor eficiencia del proceso a altas temperaturas.

En la interacción de presión hidrostática y el tiempo de hidratación, se observa que la combinación de 60 cm y el día cuatro de hidratación presenta los mayores valores en la diferencia de peso (22.58 %), diámetro polar (7.53 %), diámetro ecuatorial (6.77 %) y en el contenido de humedad de cáscara (79.76 %), lo que indica una mayor capacidad de hidratación. En comparación a las demás presiones, donde a 30 cm se observan cambios moderados y a 90 cm resultados variables.

Por otro lado, las variables químicas (pH, °Brix y acidez titulable) y el volumen relativo de jugo no mostraron una tendencia definida entre los tratamientos Aunque se observaron diferencias significativas, no siguieron un patrón claro, lo que indica una relativa estabilidad durante el proceso de hidratación. Asimismo, los errores estándar evidencian una alta variabilidad entre las combinaciones.

En el Anexo 5 se observa que la interacción triple entre temperatura, presión hidrostática y el tiempo de hidratación tuvo un efecto significativo en las variables físicas ($p < 0.05$). Particularmente el tratamiento T2 (5 °C * 60 cm * día 4), evidenció incrementos en la diferencia de peso (40.31 %), diámetro polar (12.04 %), diámetro ecuatorial (10.14 %) y en la humedad de la cáscara (86.98 %), siendo estadísticamente superior a los demás tratamientos. En contraste a 15 °C los valores fueron menores y moderados.

En cuanto a las variables químicas (pH, °Brix y acidez titulable) y el volumen relativo de jugo, no se observaron diferencias significativas, ni una tendencia definida entre los tratamientos ($p > 0.05$), manteniéndose relativamente estables durante la hidratación.

3.2. Cinética de hidratación de las variables independientes

Se determinó la cinética de hidratación en naranjas enteras desecadas bajo distintas condiciones de temperatura, presión hidrostática y tiempo de hidratación, y se analizó su influencia en las propiedades fisicoquímicas de la fruta.

En relación con las propiedades físicas, se observaron variaciones en la diferencia porcentual del peso, en los diámetros polar y ecuatorial, en la humedad de la cáscara y en el volumen relativo de jugo. Asimismo, en las propiedades químicas se observan ligeros cambios relacionados con el pH, °Brix y la acidez titulable.

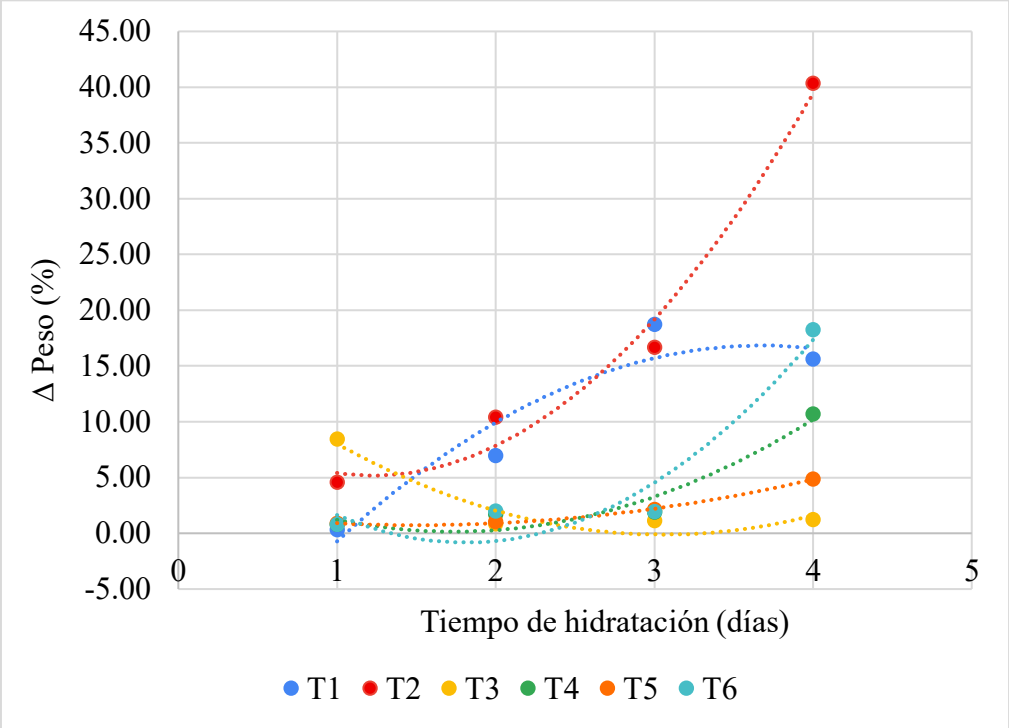
Para describir la evolución de las variables dependientes durante la hidratación se empleó un modelo polinómico de segundo orden. Este tipo de ajuste polinómico ha sido aplicado en estudios de rehidratación de alimentos como Apaliya et al. (2024), en los que se emplearon modelos exponencial y polinómico para la cinética de rehidratación de la harina del plátano verde.

3.2.1. Cinética de hidratación de la diferencia de peso (%)

El porcentaje de diferencia de peso mostró variaciones durante el proceso de hidratación a diferentes temperaturas, presiones y tiempos. En la Figura 3 se presentan las curvas polinómicas de cada tratamiento, las cuales describen la evolución de la diferencia de peso (%) de la naranja. El tratamiento T2 (5 °C * 60 cm) presentó una mayor ganancia de peso estimada al cuarto día (39.47 %), con una tendencia de incremento más pronunciada y un coeficiente de determinación ajustado de $R^2_{adj} = 0.9764$, lo que evidencia un ajuste adecuado del modelo polinómico. En contraste, el tratamiento T3 (5 °C * 90 cm) registró la menor ganancia de peso. Los tratamientos T1 (5 °C * 30 cm), T4 (15 °C * 30 cm), T5 (15 °C * 60 cm) y T6 (15 °C * 90 cm) mostraron comportamientos similares con tendencias a aumentar; no obstante el tratamiento T5 presentó el mayor coeficiente de determinación ajustado ($R^2_{adj} = 0.9974$), pero una menor hidratación. Las ecuaciones polinómicas y valores estimados al cuarto día se detallan en el Anexo 8.

Figura 3

Cinética de hidratación de la diferencia de peso (%) de la naranja a diferentes condiciones de hidratación



Nota: Los tratamientos corresponden a combinaciones de temperatura y presión hidrostática: T1 (5 °C * 30 cm), T2 (5 °C * 60 cm), T3 (5 °C * 90 cm), T4 (15 °C * 30 cm), T5 (15 °C * 60 cm) y T6 (15 °C * 90 cm).

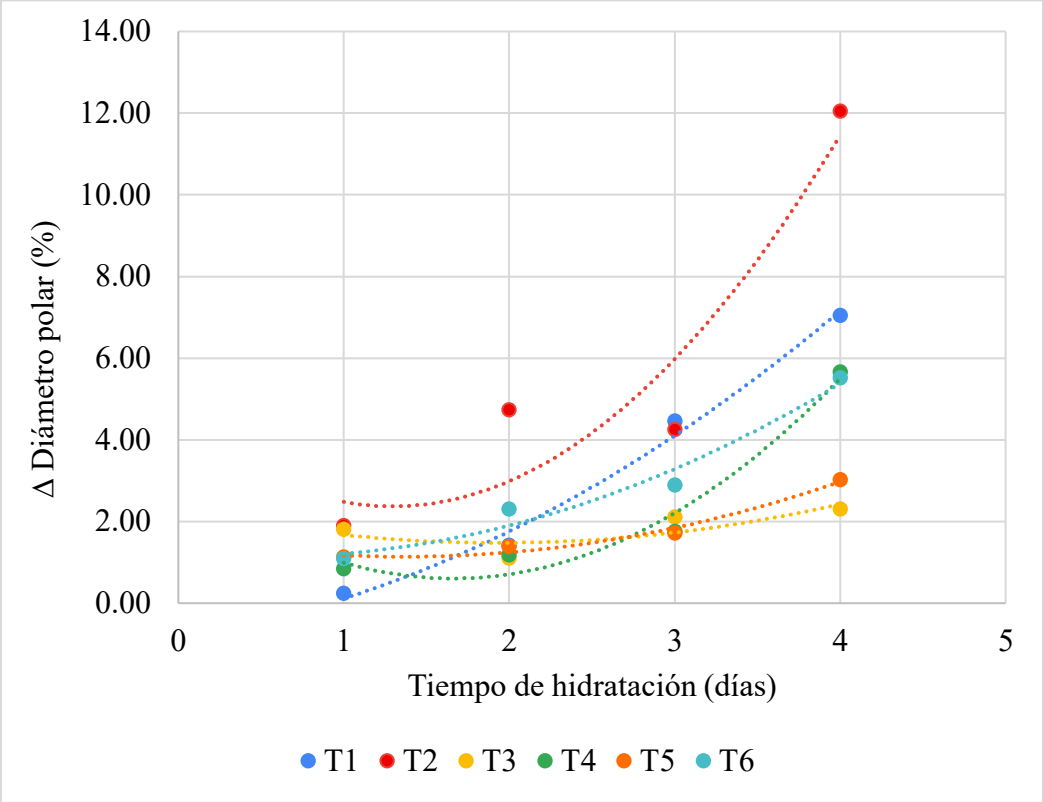
3.2.2. Cinética de hidratación del diámetro polar (%)

El diámetro polar presentó variaciones durante el proceso de hidratación bajo diferentes condiciones de evaluación. En la Figura 4 se muestran curvas polinómicas de cada tratamiento que describen el comportamiento del diámetro polar. El tratamiento T2 presentó el mayor incremento estimado al cuarto día (11.46 %), con una tendencia pronunciada en comparación con los demás tratamientos. Sin embargo, el T1 registró el mayor coeficiente de determinación ajustado (R^2_{adj} = 0.9885), lo que evidencia el mejor ajuste del modelo polinómico. En contraste el tratamiento T3 presentó el menor incremento estimado (2.43 %). En general, los tratamientos aplicados a 5 °C registraron los mayores valores a diferencia que los de 15 °C. Esto demuestra que una menor temperatura y una presión intermedia favorece el aumento del diámetro polar.

Las ecuaciones polinómicas y los valores estimados al cuarto día se detallan en el Anexo 9.

Figura 4

Cinética de hidratación del diámetro polar (%) bajo condiciones diferentes de hidratación



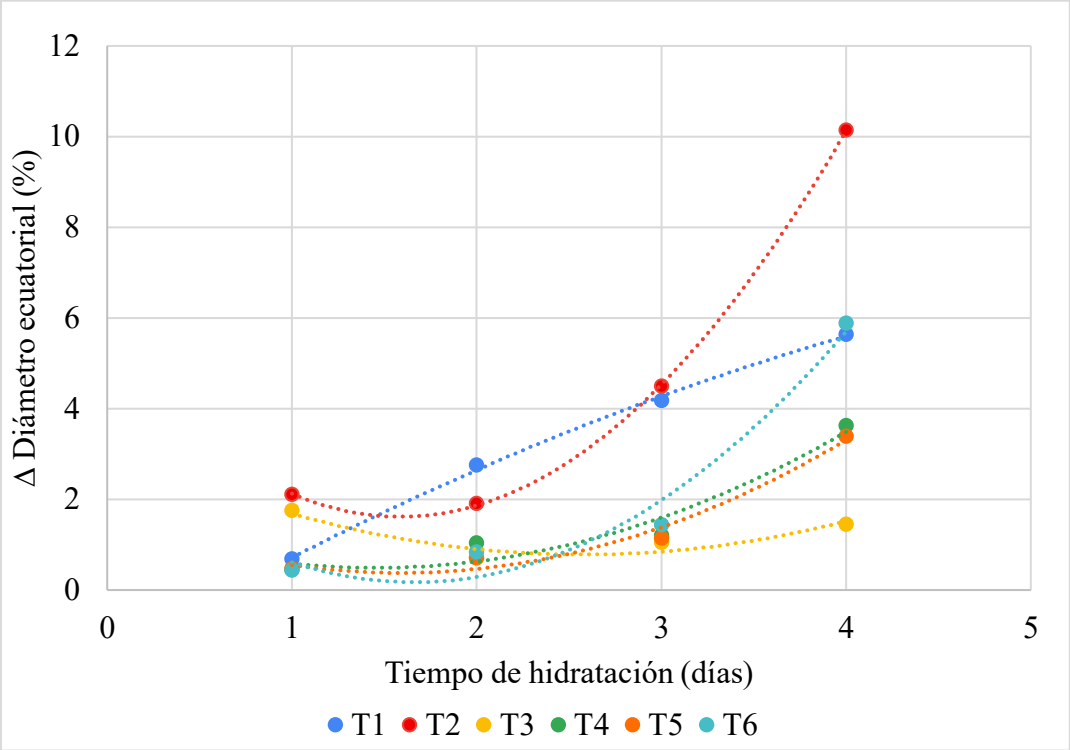
Nota: Los tratamientos corresponden a combinaciones de temperatura y presión hidrostática: T1 (5 °C * 30 cm), T2 (5 °C * 60 cm), T3 (5 °C * 90 cm), T4 (15 °C * 30 cm), T5 (15 °C * 60 cm) y T6 (15 °C * 90 cm).

3.2.3. Cinética de hidratación del diámetro ecuatorial (%)

El diámetro ecuatorial mostró variaciones durante la hidratación a diferentes condiciones de evaluación. En la figura 5 se muestran las curvas polinómicas correspondientes a cada uno de los tratamientos. El tratamiento T2 presentó el mayor incremento estimado al cuarto día (10.13 %), con una curva más pronunciada y el mayor coeficiente de determinación ajustado (R^2_{adj} = 0.9999), indicando el mejor ajuste del modelo polinómico. En contraste el tratamiento T3 registró el menor incremento estimado (1.52 %). Las ecuaciones polinómicas y los valores estimados al cuarto día se detallan en el Anexo 10.

Figura 5

Cinética de hidratación del diámetro ecuatorial (%) bajo condiciones diferentes de hidratación



Nota: Los tratamientos corresponden a combinaciones de temperatura y presión hidrostática: T1 (5 °C * 30 cm), T2 (5 °C * 60 cm), T3 (5 °C * 90 cm), T4 (15 °C * 30 cm), T5 (15 °C * 60 cm) y T6 (15 °C * 90 cm).

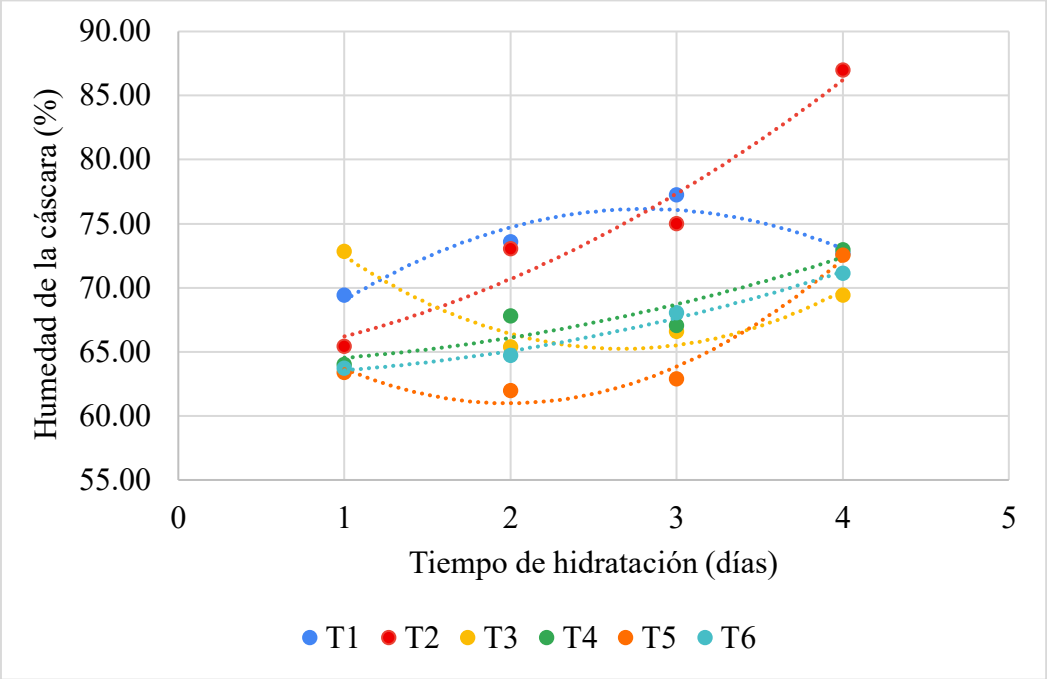
3.2.4. Cinética de hidratación de la humedad de la cáscara (%) de la naranja

La humedad de la cáscara presentó variaciones durante el proceso de hidratación a diferentes condiciones de temperaturas, presiones y tiempos. En la Figura 6 se muestran las curvas polinómicas de cada tratamiento. El tratamiento T2 presentó el mayor contenido de humedad de la cáscara estimado al cuarto día de hidratación (86.20 %), con una tendencia más pronunciada respecto a los demás tratamientos. Por otro lado, los tratamientos T4, T5 y T6 mostraron incrementos similares entre el inicio y el final del proceso. Sin embargo, el tratamiento T6 registró el mayor coeficiente de determinación ajustado (R^2_{adj} = 0.9889), indicando un mejor ajuste del modelo polinómico.

Las ecuaciones polinómicas y los coeficientes de determinación (R^2) se detallan en el Anexo 11.

Figura 6

Cinética de hidratación de la humedad de la cáscara (%) a diferentes condiciones de hidratación



Nota: Los tratamientos corresponden a combinaciones de temperatura y presión hidrostática: T1 (5 °C * 30 cm), T2 (5 °C * 60 cm), T3 (5 °C * 90 cm), T4 (15 °C * 30 cm), T5 (15 °C * 60 cm) y T6 (15 °C * 90 cm).

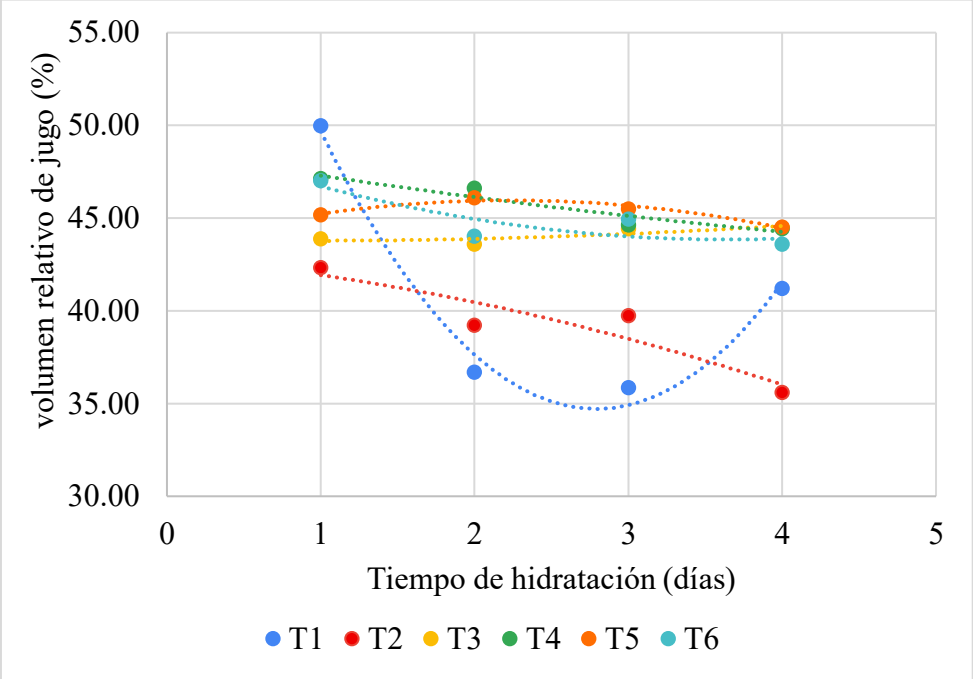
3.2.5. Cinética de hidratación del volumen relativo de jugo (%)

El volumen relativo de jugo en función al peso mostró variabilidad durante el proceso de hidratación bajo diferentes condiciones de temperaturas, presiones y tiempos. En la Figura 7 se presentan las curvas polinómicas de cada tratamiento, las cuales describen el comportamiento del volumen relativo de jugo. En general, no se observó un incremento notorio del volumen relativo de jugo durante el proceso de hidratación. Los tratamientos T1, T2, T4 y T6 mostraron una tendencia decreciente a lo largo del tiempo, mientras que el tratamiento T3 registró el mayor valor estimado al cuarto día (45.73 %), sin mostrar una tendencia definida y T1 presentó el mayor coeficiente de determinación ajustado (R^2_{adj} = 0.9804), indicando el mejor ajuste del modelo polinómico. Estos

resultados sugieren que el incremento del peso durante la hidratación no fue proporcional con el volumen relativo de jugo. Las ecuaciones polinómicas y los valores estimados al cuarto día se detallan en el Anexo 12.

Figura 7

Cinética de hidratación del volumen relativo de jugo (%) a diferentes condiciones de hidratación



Nota: Los tratamientos corresponden a combinaciones de temperatura y presión hidrostática: T1 (5 °C * 30 cm), T2 (5 °C * 60 cm), T3 (5 °C * 90 cm), T4 (15 °C * 30 cm), T5 (15 °C * 60 cm) y T6 (15 °C * 90 cm).

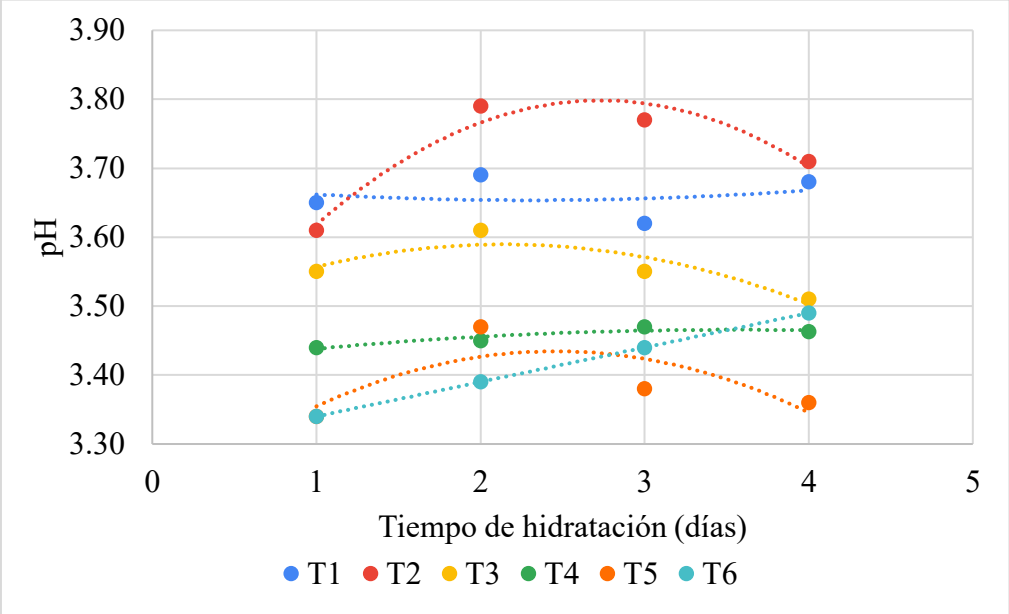
3.2.6. Cinética de hidratación del pH

El pH mostró ligeras variaciones durante el proceso de hidratación de naranjas enteras desecadas bajo diferentes condiciones de temperatura, presión y tiempo. En la Figura 8 se presentan las curvas polinómicas correspondientes a cada tratamiento. El tratamiento T2 registró el mayor valor estimado al cuarto día de hidratación (3.70), evidenciando un leve incremento del pH en comparación con los demás tratamientos. Por otro lado, el tratamiento T3 presentó una tendencia decreciente, mientras que los tratamientos T1, T4, T5 y T6 mantuvieron valores relativamente estables, con pequeñas fluctuaciones. No obstante, el tratamiento T6 presentó el mayor coeficiente de determinación ajustado (R^2_{adj} = 1.000), lo

que indica el mejor ajuste del modelo polinómico En general, el pH no mostró cambios marcados entre los tratamientos, lo que evidencia una estabilidad frente a las condiciones evaluadas. Las ecuaciones polinómicas y los valores estimados al cuarto día se detallan en el Anexo 13.

Figura 8

Cinética de hidratación del pH a condiciones diferentes de hidratación



Nota: Los tratamientos corresponden a combinaciones de temperatura y presión hidrostática: T1 (5 °C * 30 cm), T2 (5 °C * 60 cm), T3 (5 °C * 90 cm), T4 (15 °C * 30 cm), T5 (15 °C * 60 cm) y T6 (15 °C * 90 cm).

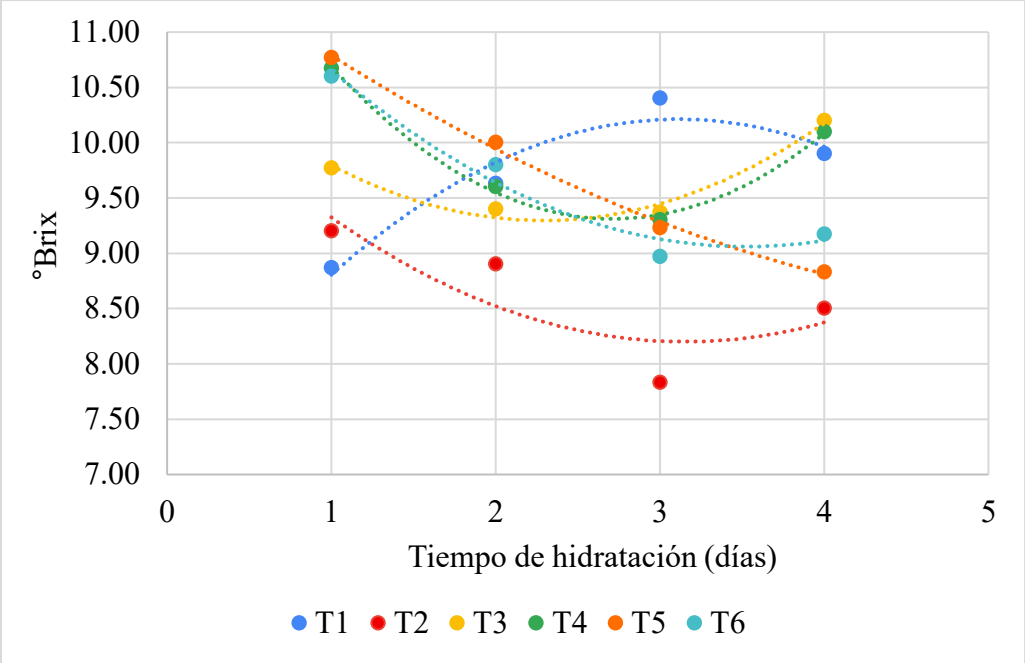
3.2.7. Cinética de hidratación de los °Brix

Se evaluó los °Brix, una de las propiedades químicas de la naranja, observándose variaciones durante el periodo de hidratación bajo diferentes condiciones de temperaturas, presiones y tiempos. En la Figura 9 se presentan las curvas polinómicas de cada uno de los tratamientos. En general, esta variable no mantuvo una tendencia uniforme durante todo el proceso. En tratamiento T3 registró el mayor contenido de sólidos solubles estimado al cuarto día (10.17 °Brix), seguido de T4 (10.08 °Brix) y T1 (9.96 °Brix), mientras que T2 presentó el menor valor (8.38 °Brix). Asimismo, los coeficientes de determinación ajustados fueron relativamente altos en los tratamientos, destacando el T5 (R^2_{adj} = 0.9962) y T4 (R^2_{adj} = 0.9939). En conjunto, estos resultados indican que las

condiciones evaluadas no generan cambios marcados en los sólidos solubles. Las ecuaciones polinómicas y los valores estimados al cuarto día se detallan en el Anexo 14.

Figura 9

Cinética de hidratación de los °Brix a condiciones diferentes de hidratación



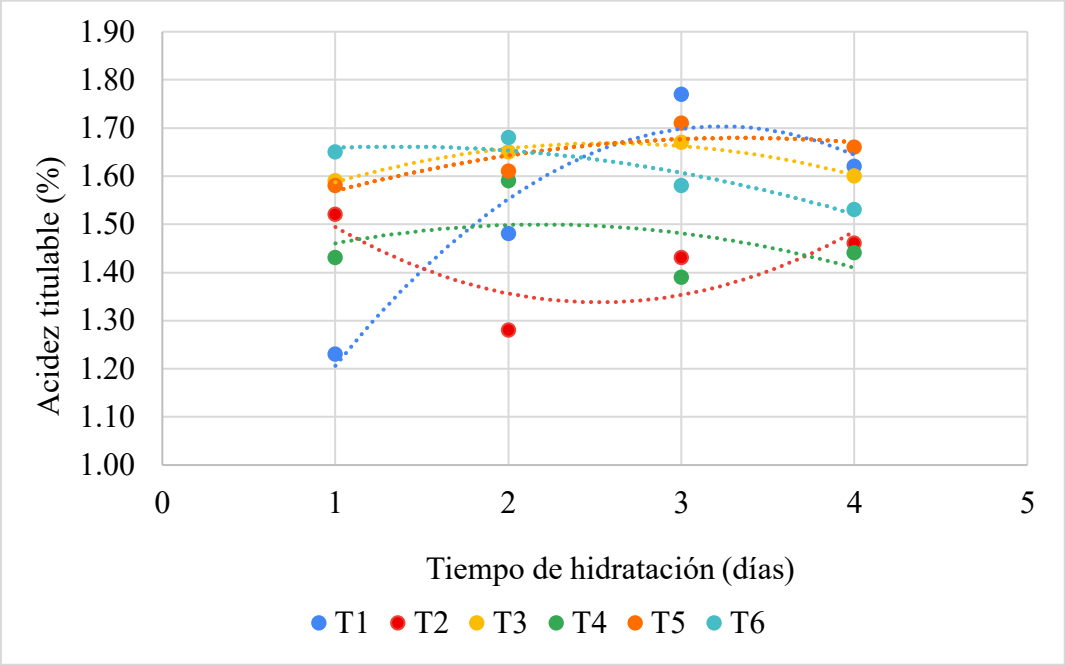
Nota: Los tratamientos corresponden a combinaciones de temperatura y presión hidrostática: T1 (5 °C * 30 cm), T2 (5 °C * 60 cm), T3 (5 °C * 90 cm), T4 (15 °C * 30 cm), T5 (15 °C * 60 cm) y T6 (15 °C * 90 cm).

3.2.8. Cinética de hidratación de la acidez titulable

La acidez titulable presentó ligeras variaciones durante el proceso de hidratación bajo diferentes condiciones de temperatura, presión y tiempo. En la Figura 10 se presentan las curvas polinómicas de cada tratamiento. En general, no se observaron cambios marcados a lo largo del periodo de evaluación. El tratamiento T5 registró el mayor valor estimado al cuarto día (1.67), seguido de T1 (1.64) y T6 (1.52), mientras que T3 presentó el menor valor (0.26). Sin embargo, T3 mostró el mayor coeficiente de determinación ajustado (R^2_{adj} = 0.9659), lo que indica un mejor ajuste del modelo polinómico, a pesar de presentar el menor valor de acidez titulable. Las ecuaciones polinómicas y los valores estimados al cuarto día se detallan en el Anexo 15.

Figura 10

Cinética de hidratación de la acidez titulable a diferentes condiciones de hidratación



Nota: Los tratamientos corresponden a combinaciones de temperatura y presión hidrostática: T1 (5 °C * 30 cm), T2 (5 °C * 60 cm), T3 (5 °C * 90 cm), T4 (15 °C * 30 cm), T5 (15 °C * 60 cm) y T6 (15 °C * 90 cm).

15

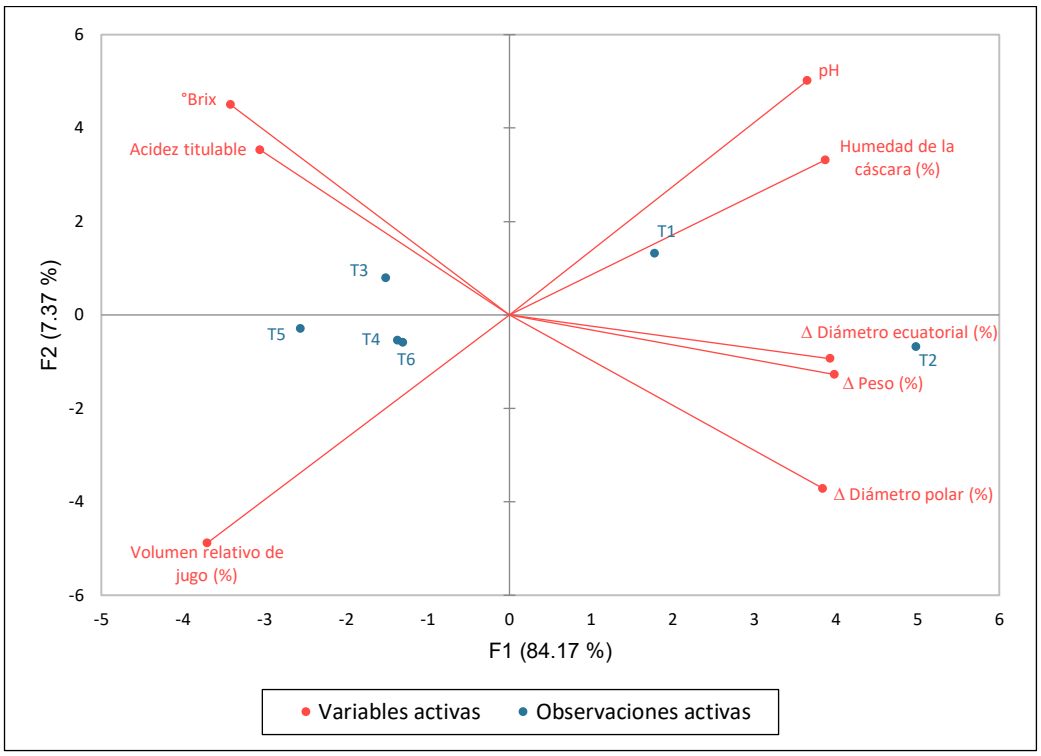
3.3. Análisis de componentes principales

En la Figura 11 se muestra el diagrama de componentes principales (PCA), que resume la relación entre tratamientos (T1 – T6) y las variables dependientes. Los dos primeros componentes representan conjuntamente el 91.54 % de variabilidad de los datos, siendo el componente F1 el más relevante con el 84.17 %. Este se asoció con las variables de diferencia porcentual del peso, del diámetro polar y ecuatorial, el contenido de humedad de la cáscara y el pH. Esto sugiere que este eje presenta una recuperación estructural y una absorción de agua en la naranja desecada.

Por su parte, el componente F2 explica el 7.37 % de variabilidad, se asoció con los °Brix y la acidez titulable, y se separó del porcentaje de volumen relativo de jugo. Lo que indica una variación secundaria asociada a una concentración de solutos.

Figura 11

Análisis de componentes principales



Nota: El gráfico biplot está definido por los componentes F1 (84.17 %) y F2 (7.37 %). En el lado derecho se agrupan las variables físicas (diferencia peso, diámetro y humedad de la cáscara) asociadas al tratamiento T2, mientras que en el lado izquierdo se relacionan las variables químicas (°Brix, acidez titulable) y el volumen relativo de jugo.

El análisis de componentes principales (PCA) explica el 91.54 % de variabilidad total. El tratamiento T2 se ubicó en el lado positivo del componente del F1, asociado con la diferencia porcentual del peso, del diámetro polar y diámetro ecuatorial, lo que indica una mayor hidratación y expansión dimensional de la naranja sometida a las diferentes condiciones. Por su parte, el tratamiento T1 también ubicado en el componente F1 pero más cercano al origen, presentó un comportamiento intermedio, sin una asociación marcada con la variable del pH y la humedad de la cáscara. En contraste, los tratamientos T3, T4, T5 y T6 se agruparon hacia el lado negativo del componente F1, relacionándose con el porcentaje de volumen relativo de jugo, °Brix y la acidez titulable, lo que evidencia un menor efecto de hidratación estructural en la naranja y una estabilidad relativa de las características químicas. Por otro lado, el componente F2 aporta poca variabilidad, lo que impide distinguir significativamente entre los tratamientos.

IV. DISCUSIÓN

4.1. Variables físicas

Los resultados de las propiedades físicas evidencian que el incremento del porcentaje del peso de las naranjas desecadas estuvo influenciado por las condiciones de hidratación evaluadas. En el cuarto día de hidratación, el tratamiento T2 (5 °C * 60 cm) presentó la mayor ganancia de peso (40.31 %) logrando superar el valor de la fruta fresca, lo que indica una elevada capacidad de absorción de agua. En contraste, a 15 °C no se alcanzó la recuperación del peso inicial, aunque el tratamiento T6 (15 °C * 90 cm) alcanzó un incremento de 18.23 %, indicando que la temperatura influye en la eficiencia del proceso de hidratación de la naranja. Este comportamiento coincide con lo señalado por Krokida y Philippopoulos (2005), quienes reportaron que la temperatura del agua influye significativamente en la cinética de hidratación y en el contenido de la humedad de la fruta hidratada. Asimismo, Zura-Bravo et al. (2013) reportaron que temperaturas moderadas de hidratación (20 y 40 °C) favorecen la tasa de rehidratación y la recuperación de algunos parámetros, mientras que temperaturas elevadas (60 °C) generan efectos negativos en la cinética de hidratación.

De acuerdo con Lewicki (1998a), la hidratación en matrices vegetales deshidratadas ocurre rápidamente al inicio y posteriormente disminuye a medida que los espacios superficiales se saturan. Por su parte Wang et al. (2023) reportaron que la temperatura influye en el proceso de hidratación, ya que puede promover una difusión del agua, reducir el tiempo de hidratación y mejorar la capacidad de hidratación.

Durante la desecación, el diámetro polar y diámetro ecuatorial sufrieron una contracción como consecuencia de la pérdida de agua. Posteriormente, la hidratación permitió recuperar estas dimensiones en 12.04 % en el diámetro polar y 10.14 % en el diámetro ecuatorial respecto al estado fresco, particularmente en el tratamiento T2 a 5 °C, lo que evidencia que a bajas temperaturas de hidratación favorece una mayor expansión física de la naranja. En contraste, a 15 °C el incremento del diámetro polar (3.02 % - 5.65 %) y el diámetro ecuatorial (3.39 % - 5.88 %) fue más moderado. Asimismo, el tiempo de hidratación influyó en la expansión del tejido, observándose una recuperación progresiva del diámetro hacia el cuarto día de hidratación.

En ese contexto, Witrowa-Rajchert y Lewicki (2006) señalaron que durante el proceso de hidratación la penetración del agua provoca una hinchazón del vegetal. Asimismo,

reportaron que la tasa de ganancia de volumen (diámetro) es proporcional a la ganancia de masa, lo cual concuerda con los resultados obtenidos en el estudio. De igual forma Krokida y Marinos-Kouris (2003) señalan que la temperatura de hidratación influye notablemente en el hinchamiento del vegetal. Por su parte Wang et al. (2024) señalaron que la capacidad de restitución de los tejidos vegetales depende del estado de la pared celular y membrana celular, ya que estas estructuras regulan la absorción y retención de agua.

Resultados similares han sido reportados por Marques et al. (2009), quienes evaluaron la hidratación de frutas deshidratadas mediante la inmersión en agua destilada a 25 °C durante 6 horas; determinando que la absorción de agua en los tejidos provoca pérdida de solutos hacia el medio hidratante y cambios estructurales, reflejados en el aumento del diámetro, volumen y peso. Sin embargo, estos autores señalan que no todas las frutas tienen la capacidad de recuperar su estado original debido a los cambios estructurales ocasionados durante la deshidratación. Por su parte, Soysal y İsmail (2017) observaron en rodajas de nectarina una mayor expansión del tejido a temperaturas elevadas (25, 50 y 70 °C), lo cual es distinto de los resultados obtenidos en este estudio, donde la mayor restitución estructural se produjo a menor temperatura (5 °C). Esta diferencia podría atribuirse a factores como el tipo de especie, tamaño y forma del fruto, así como al método de hidratación empleado y a las condiciones de evaluación aplicadas.

El porcentaje de humedad de la cáscara de las naranjas hidratadas, presentó variaciones entre los tratamientos en función a la temperatura. A 5 °C, el tratamiento T2 alcanzó el mayor contenido de humedad (86.98 %), superando el valor del estado fresco, lo que indica una mayor capacidad de absorción y retención del agua en la cáscara. El tratamiento T1 (5 °C * 30 cm) mostró un ligero incremento respecto al estado fresco (72.66 %), mientras que T3 (5 °C * 90 cm) presentó una recuperación parcial (69.42 %). En contraste, a 15 °C, los tratamientos mostraron incrementos moderados (71.12 % - 72.93 %) sin superar contenido de humedad inicial. En conjunto, este comportamiento indica que a bajas temperaturas se observa una mayor absorción de agua, lo que favorece al incremento del porcentaje de humedad de la cáscara durante el proceso de hidratación. Estos resultados coinciden con lo descrito por Lewicki (1998a) y Maskan (2001), quienes señalan que durante la hidratación, el agua primero penetra los poros del tejido vegetal y posteriormente se difunde hacia la pared intracelular hasta alcanzar un estado cercano de equilibrio.

La hidratación de la cáscara no se produce de manera uniforme debido a su estructura, compuesta por el flavedo (capa externa coloreada) y el albedo (mesocarpio blanco esponjoso), los cuales sufren cambios durante la desecación y posterior hidratación (Alferez et al., 2010). En ese sentido, la cáscara actúa como una primera zona de absorción de líquido hidratante, limitando el movimiento del agua hacia el interior de la fruta (Romero et al., 2021). Esto explicaría que, a pesar del incremento del peso durante la hidratación, el volumen relativo de jugo no presentó variaciones significativas, lo que evidencia que la mayor parte del agua absorbida se concentra principalmente en la cáscara y no en la pulpa de la naranja.

En cuanto al volumen relativo de jugo, se observaron variaciones según la temperatura de hidratación. A 15 °C, los tratamientos T4 (15 °C * 30 cm) con 44.42 %; T5 (15 °C * 60 cm) con 44.52 % y T6 con 43.60 % presentaron valores superiores al estado fresco (41.09 %), evidenciando que, a esta temperatura, el volumen relativo de jugo tiende a aumentar ligeramente. En contraste, a 5 °C se observó una mayor variabilidad entre los tratamientos: T2 (35.60 %) y T1 (41.21 %) presentaron una disminución mientras, mientras que T3 alcanzó un valor de 44.49 %, superior al de la fruta fresca (42.10 %), indicando que en condiciones específicas puede haber una mayor restitución del volumen relativo de jugo. Sin embargo, no se encontró una relación directa entre el incremento de peso y el volumen relativo de jugo, a pesar de observarse ligeros incrementos en el volumen; estos no fueron lo suficientemente notorios para establecer una relación, lo que sugiere que el agua absorbida durante la hidratación no se transforma completamente en jugo libre, sino que permanece retenida en el tejido externo (cáscara), reportado por Romero et al. (2021).

4.2. Variables químicas

Durante la hidratación las variables químicas, como el pH del jugo de la naranja, mostraron variaciones entre los tratamientos. A 5 °C se registraron valores ligeramente superiores en los tratamientos T1 (3.68), T2 (3.71) y T3 (3.51), respecto al estado fresco (3.46), siendo el T3 el más cercano. En contraste, a 15 °C los valores fueron inferiores, manteniéndose relativamente estables y cercanos al de la fruta fresca. Además, no se observó una tendencia progresiva durante los cuatro días de evaluación, ya que los valores oscilaron entre 3.36 – 3.71, tampoco hubo una influencia clara en la presión hidrostática.

Este comportamiento coincide con lo descrito por Krokida y Marinos-Kouris (2003), quienes señalaron que la hidratación de vegetales ocurre en tres etapas: la imbibición de agua, seguido de un hinchamiento del tejido y por último la lixiviación de los solutos; esta última la que provoca variaciones en el pH debido a la migración de compuestos solubles hacia el medio hidratante, provocando pérdidas de ácidos orgánicos presente en el jugo. Asimismo, Habibi et al. (2021) reportaron que a bajas temperaturas de almacenamiento puede presentarse un ligero incremento del pH, debido a la actividad bioquímica que provoca cambios en los ácidos orgánicos; es por ello que en los resultados a 5 °C ningún tratamiento logra alcanzar el valor inicial de la fruta.

Los sólidos solubles totales también mostraron variaciones entre los tratamientos. A 5 °C los tratamientos T1 (9.90 °Brix) y T3 (10.20 °Brix) aumentaron en un 8.43 % y 11.72 % respecto a la fruta fresca (9.13 °Brix), evidenciando una concentración de solutos en el jugo, mientras que T2 (8.50 °Brix) mostró una disminución (-6.90 %). A 15 °C, el tratamiento T4 (10.10 °Brix) superó el valor del estado fresco (9.68 °Brix) en un 4.34 %, indicando una concentración de solutos, mientras que T5 (8.83 °Brix) evidencio una disminución (-8.78 %) asociada a una dilución de solutos, T6 (9.17 °Brix) presentó un valor más cercano a la fruta fresca (-5.27 %). Sin embargo, ninguno de los tratamientos logró restituir completamente el contenido de sólidos solubles (°Brix) tras la hidratación, lo que puede atribuirse a la dilución por absorción de agua y una lixiviación de solutos hacia el medio. En ese sentido, Lewicki (1998a) señala que durante la hidratación los cambios de los sólidos solubles están asociados al ingreso del agua y a la pérdida de solutos, siendo la lixiviación el principal mecanismo responsable de la migración de los sólidos hacia el medio circulante. De manera similar, Huang et al. (2011) reportaron que durante este proceso pueden ocurrir desplazamientos de azúcares solubles hacia el medio hidratante, lo que genera variabilidad en los valores de °Brix.

En ese contexto, Chacha (2011) evaluó la rehidratación de la frutilla previamente deshidratada (9.3 °Brix) y reportó que, tras la inmersión en agua, el contenido de sólidos soluble incrementó hasta 10 °Brix, valor cercano al de la fruta fresca (10.15 °Brix). Este comportamiento es comparable con los resultados obtenidos, donde el tratamiento T6 mantuvo valores de sólidos solubles relativamente cercanos al del estado fresco, lo que sugiere una retención de solidos durante la hidratación.

La acidez titulable del jugo también presentó variaciones durante el proceso de desecación e hidratación. A 5 °C, la desecación produjo un incremento de la acidez de 1.31 a 1.46 %, lo que se atribuye a una concentración de los ácidos orgánicos debido a la pérdida de agua (Degwale et al., 2022). Durante la hidratación, los tratamientos T1 (1.62 %) y T3 (1.60 %) presentaron valores superiores al estado fresco (1.31 %), mientras que T2 (1.46 %) se mantuvo igual al estado desecado, debido a los cambios estructurales del tejido que favorecen la liberación de compuestos ácidos hacia el jugo. En contraste, a 15 °C la acidez disminuyó ligeramente tras la desecación, así como el tratamiento T4 (1.44 %) debido a una dilución de los ácidos orgánicos por la absorción de agua, así como una posible lixiviación de los ácidos hacia el medio hidratación. Este comportamiento concuerda con lo reportado por Marín et al. (2006), quienes señalan que durante la hidratación de alimentos deshidratados pueden ocurrir fenómenos asociados a la transferencia de masa, absorción de agua y lixiviación de ácidos orgánicos. Por su parte, el tratamiento T5 (1.66 %) presentó un valor cercano al estado fresco (1.67 %), mientras que T6 (1.53 %) evidenció una recuperación parcial. Asimismo, Antunes et al. (2025) reportaron que la variación de la acidez durante la hidratación de frutas deshidratadas suele ser moderada y dependen de las condiciones del proceso aplicado.

4.3. Cinética de hidratación y análisis multivariado

La cinética de hidratación evidenció un comportamiento característico en las naranjas desecadas, con una rápida absorción de agua en el inicio del proceso y posterior disminución hasta alcanzar su estado de equilibrio, debido a la saturación del tejido (Lewicki, 1998b). En ese contexto, el tratamiento T2 (5 °C * 60 cm), mostró una mayor capacidad de absorción de agua que favoreció la recuperación de las variables físicas (diferencia de peso, diámetros y humedad de la cáscara). Este comportamiento coincide con lo reportado por Krokida y Philippopoulos (2005) quien menciona que la temperatura del agua influye en la cinética de hidratación. Asimismo, Witrowa-Rajchert y Lewicki (2006) señalan que la absorción de agua es directamente proporcional con el aumento de masa y volumen de la fruta. Por otro lado, las variables químicas se mantuvieron relativamente estables, presentando fluctuaciones entre los tratamientos que no fueron lo suficientemente marcados para establecer una tendencia definida. El modelo polinómico aplicado, permitió describir adecuadamente el comportamiento de

las variables, registrando altos valores de coeficiente de determinación ajustado (R^2_{adj}) entre los tratamientos.

El análisis de componentes principales (PCA) explicó el 91.54 % de la variabilidad total, integrando las variables de porcentaje ganancia de peso, diámetro polar y ecuatorial, humedad de la cáscara, volumen relativo de jugo, pH, °Brix y acidez titulable. El tratamiento T2, ubicado en el componente F1, mostró una mayor asociación con el porcentaje de peso y los diámetros polar y ecuatorial, lo que indica que existe una mayor hidratación y expansión dimensional. En contraste, el componente F2 presentó una relación mínima con las variables químicas, debido a su baja variabilidad entre tratamientos.

Estos resultados coinciden con lo señalado por Lewicki (1998b), quien indica que la hidratación favorece la recuperación estructural de los tejidos vegetales y que la absorción de agua puede ocasionar una expansión celular en la matriz vegetal. No obstante, no se encontraron investigaciones relacionadas con la evaluación del PCA en hidratación de frutas cítricas, resaltando el enfoque innovador del presente estudio al evaluar la hidratación de naranjas enteras (variedad criolla) previamente desecadas, considerando los efectos significativos de la temperatura, presión hidrostática y el tiempo de hidratación sobre las propiedades fisicoquímicas.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

La hidratación por inmersión en agua permitió una recuperación significativa de las propiedades físicas (diferencia de peso, diámetros y humedad de la cáscara) de las naranjas criollas enteras desecadas, las cuales estuvieron influenciadas principalmente por la temperatura de 5 °C, que generó mayores valores que los del estado fresco. En particular, el tratamiento T2 (5 °C * 60 cm) mostró una mayor absorción de agua y una recuperación estructural más eficiente. En contraste, el volumen relativo de jugo en función al peso presentó un comportamiento distinto, registrando valores ligeramente mayores a 15 °C respecto al estado fresco y sin evidenciar una relación directa entre la ganancia de peso obtenida durante la hidratación. En general, el factor predominante en la recuperación estructural de la naranja fue la temperatura, mientras que la presión y el tiempo mostraron un efecto progresivo durante la hidratación.

La evaluación de las variables químicas durante la hidratación mostró una recuperación parcial. El pH presentó variaciones leves durante el proceso, siendo el tratamiento T4 (15 °C * 30 cm) el único que logró restituir completamente este parámetro. En cuanto a los sólidos solubles (°Brix), estos se aproximaron al valor inicial. Respecto a la acidez titulable, esta fue la variable más sensible al proceso de hidratación, siendo el tratamiento T5 (15 °C * 60 cm) el que presentó mayor aproximación al estado fresco. En general, la temperatura fue el factor predominante en la recuperación de estas propiedades químicas, mientras que el tiempo y la presión ejercieron un efecto moderado. Ningún tratamiento logró restituir simultáneamente todas las variables químicas.

Desde el enfoque cinético solo se observó un incremento progresivo a 5 °C en las variables físicas, con tendencia a estabilizarse. En contraste, el porcentaje de volumen relativo de jugo presentó ligeras fluctuaciones sin un patrón progresivo, mientras que las variables químicas no mostraron un aumento progresivo entre los tratamientos. Según el análisis de componentes principales (PCA) el tratamiento T2 mostró la mayor asociación con las variables físicas. Además, se ubicó alejado de las variables químicas las cuales se mantuvieron relativamente constantes, sin evidenciar una restitución simultánea respecto al estado fresco.

Recomendaciones

- Se recomienda a los futuros investigadores, evaluar la hidratación de frutas en un rango más amplio de temperaturas y presiones para determinar las condiciones que permitan recuperar simultáneamente las propiedades físicas y químicas.
- Se recomienda a los estudiantes e investigadores del área de tecnología de alimentos, evaluar la distribución del agua absorbida durante la hidratación, particularmente en la pulpa y la cáscara, considerando que el incremento de peso no se reflejó en un aumento del volumen relativo de jugo.
- A futuros trabajos de investigación, se recomienda incorporar la determinación de vitamina C como indicador de valor nutricional de la naranja, a fin de evaluar el efecto del proceso de hidratación y su comportamiento cinético durante el periodo de hidratación.
- Se recomienda a los estudiantes y/o investigadores del área de alimentos evaluar el efecto de la hidratación de naranjas enteras sometidas a diferentes soluciones acuosas (salinas o azucaradas), con el fin de comparar su efecto con los parámetros fisicoquímicos.
- Para los investigadores y especialistas en la calidad de alimentos, sería pertinente evaluar los análisis sensorial y microbiológico, con el fin de relacionar la recuperación fisicoquímica con el grado de aceptabilidad y la seguridad para el consumo.
- Se recomienda a la industria de procesamiento de frutas evaluar la hidratación de naranjas desecadas a escala piloto para determinar su viabilidad técnica y económica, así como su potencial aplicación en la reducción de pérdidas postcosecha.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alferez, F., Alquezar, B., Burns, J. K., & Zacarias, L. (2010). Variation in water, osmotic and turgor potential in peel of 'Marsh' grapefruit during development of postharvest peel pitting. *Postharvest Biology and Technology*, *56*(1), 44-49. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2009.12.007

Altemio, A. D. C., Martelli, S. M., & Fonseca, G. G. (2025). Bioactive compounds, antioxidant activity, and maturation effects in bitter and sweet orange juices. *Food Science and Technology*, *45*. https://doi.org/10.5327/fst.00446

Antunes, P., Gonçalves, D., Orvalho, T., Evangelista, M. B., Pino-Hernández, E., & Alves, M. (2025). Impact of different dehydration methods on drying efficiency, nutritional and physico-chemical quality ofsStrawberries slices (*Fragaria ananassa*). *Processes*, *13*(7), 2065. https://doi.org/10.3390/pr13072065

AOAC. (2000a). *AOAC Official Method 932.12 Solids (Soluble) in Fruits and Fruit Products: Refractometer Method*. AOAC International.

AOAC. (2000b). *AOAC Official Method 981.12—pH of Acidified Foods*. AOAC International.

AOAC. (2005). *AOAC Official Method 942.15 Acidity (Titratable) of Fruit Products*. AOAC International.

Apaliya, M. T., Kwaw, E., Osae, R., Alolga, R. N., Aidoo, P., Mensah, L. A., Sackey Aikins, A. S., & Wilson, C. L. (2024). Efecto de diferentes métodos de secado sobre la cinética de rehidratación, las propiedades fisicoquímicas y funcionales de la harina de plátano verde (*Musa parasidiaca*). *Food Chemistry Advances*, *4*, 100610. https://doi.org/10.1016/j.focha.2024.100610

Aslan, V. (2024). The analysis of classical, polynomial regression and cubic spline mathematical models in hemp biodiesel optimization: An experimental comparison.

Environmental Science and Pollution Research, *31*(6), 9392-9407. https://doi.org/10.1007/s11356-023-31720-0

Bahamón-Monje, A. F., García-Rincón, P. A., Collazos-Escobar, G. A., Amorocho-Cruz, C. M., & Gutiérrez-Guzmán, N. (2025). Dataset and multivariate statistical tools for mathematical modeling of water desorption isotherms and infrared spectral properties of cupuassu (*Theobroma grandiflorum* L.) pulp. *Data in Brief*, *61*, 111720. https://doi.org/10.1016/j.dib.2025.111720

Bhattarai, R. R., Rijal, R. K., & Mishra, P. (2013). Post-harvest losses in mandarin orange: A case study of Dhankuta District, Nepal. *African Journal of Agricultural Research*, *8*(9), 763-767. https://doi.org/10.5897/AJAR12.2167

Chacha Gunsha, G. E. (2011). *Estudio del proceso de rehidratación a partir de frutilla (Fragaria vesca) deshidratada* [Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. https://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/1618

Degwale, A., Asrat, F., Eniyew, K., Asres, D., Tesfa, T., & Ayalew, A. (2022). Influence of Dehydration Temperature and Time on Physicochemical Properties of Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) Powder. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, *6*. https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.839385

Gidado, M. J., Gunny, A. A. N., Gopinath, S. C. B., Ali, A., Wongs-Aree, C., & Salleh, N. H. M. (2024). Challenges of postharvest water loss in fruits: Mechanisms, influencing factors, and effective control strategies – A comprehensive review. *Journal of Agriculture and Food Research*, *17*, 101249. https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101249

Habibi, F., Guillén, F., Serrano, M., & Valero, D. (2021). Physicochemical changes, peel colour, and juice attributes of blood orange cultivars stored at different temperatures. *Horticulturae*, *7*(9), 320. https://doi.org/10.3390/horticulturae7090320

Huang, L., Zhang, M., Yan, W., Mujumdar, A. S., & Sun, D. (2011). Rehydration characteristics of freeze-dried strawberry pieces as affected by whey protein edible coatings. *International Journal of Food Science & Technology*, *46*(4), 671-677. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2010.02495.x

Janas, S., & Kowalska, M. (2023). Accuracy of drying selected products using a moisture analyzer method based on infrared radiation. *Metrology and Measurement Systems*, *30*(2), 305-321. https://doi.org/10.24425/mms.2023.144873

Krokida, M. K., & Marinos-Kouris, D. (2003). Rehydration kinetics of dehydrated products. *Journal of Food Engineering*, *57*(1), 1-7. https://doi.org/10.1016/S0260-8774(02)00214-5

Krokida, M. K., & Philippopoulos, C. (2005). Rehydration of dehydrated foods. *Drying Technology*, *23*(4), 799-830. https://doi.org/10.1081/DRT-200054201

León González, Á., Llinás Solano, H., & Tilano, J. (2008). Análisis multivariado aplicando componentes principales al caso de los desplazados. *Ingeniería y Desarrollo*, (23), 119-142.

Lewicki, P. P. (1998a). Effect of pre-drying treatment, drying and rehydration on plant tissue properties: A review. *International Journal of Food Properties*, *1*(1), 1-22. https://doi.org/10.1080/10942919809524561

Lewicki, P. P. (1998b). Some remarks on rehydration of dried foods. *Journal of Food Engineering*, *36*, 81-87. https://doi.org/10.1016/S0260-8774(98)00022-3

Lipinska, M., Tomaszewska, M., & Kołozyn-Krajewska, D. (2019). Identifying factors associated with food losses during transportation: Potentials for social purposes. *Sustainability*, *11*(7), 20-46. https://doi.org/10.3390/su11072046

Magaña Benítez, W., Sauri Duch, E., Corrales García, J., & Saucedo Veloz, C. (2013). Variaciones biquímicas-fisiológicas y fisicas de las frutas de pitahaya

(*Hylocereusundatus*) almacenadas en ambiente natural. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, *14*(1), 21-30.

Marín B, E., Lemus M, R., Flores M, V., & Vega G, A. (2006). La rehidratación de alimentos deshidratados. *Revista chilena de nutrición*, *33*(3). https://doi.org/10.4067/S0717-75182006000500009

Marques, L. G., Prado, M. M., & Freire, J. T. (2009). Rehydration characteristics of freeze-dried tropical fruits. *LWT - Food Science and Technology*, *42*(7), 1232-1237. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2009.02.012

Maskan, M. (2001). Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of Food Engineering*, *48*(2), 177-182. https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00155-2

Mawoneke, K. G., Rusike, T., Makumbirofa, H. M., & Mukwidigwi, J. (2025). From farm to fork: A review of strategies for sustainable reduction of post-harvest losses in Sub-Saharan Africa. *Cogent Food & Agriculture*, *11*(1), 2588851. https://doi.org/10.1080/23311932.2025.2588851

Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. (2026). *Boletín estadístico mensual: El agro en cifras – Noviembre 2025*. Dirección General de Estadística, Seguimiento y Evaluación de Políticas. https://www.gob.pe/institucion/midagri/informes-publicaciones/6573082-boletin-estadistico-mensual-el-agro-en-cifras-2025

OpenAI. (2026). *Representación gráfica 3D del proceso de hidratación* [Imagen generada por inteligencia artificial].

Özkan-Karabacak, A., Acoğlu, B., Yolci Ömeroglu, P., & Çopur, Ö. U. (2020). Microwave pre-treatment for vacuum drying of orange slices: Drying characteristics, rehydration capacity and quality properties. *Journal of Food Process Engineering*, *43*(11), e13511. https://doi.org/10.1111/jfpe.13511

Palumbo, M., Attolico, G., Capozzi, V., Cozzolino, R., Corvino, A., De Chiara, M. L. V., Pace, B., Pelosi, S., Ricci, I., Romaniello, R., & Cefola, M. (2022). Emerging postharvest technologies to enhance the Shelf-life of fruit and vegetables: An overview. *Foods*, *11*(23), 3925. https://doi.org/10.3390/foods11233925

Pérez Romero, L. F., Robles Domínguez, J. K., Pizarro Pariona, L. D., & Casimiro Soriano, E. M. (2020). Evaluación de pérdidas poscosecha de naranjas (*Citrus sinensis*) producidas en la selva central del Perú. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, *21*(2). https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81365122004

Rajapakshe, P., Rathnasinghe, N., Guruge, K., Nilmini, R., Jayasinghe, R., Karunaratne, V., Wijesena, R., & Priyadarshana, G. (2026). Strategies to minimize post-harvest waste of fruits and vegetables: Current solutions and future perspectives. *Journal of Future Foods*, *6*(3), 400-412. https://doi.org/10.1016/j.jfutfo.2025.04.013

Rizzo, V. (2025). Sustainable postharvest innovations for fruits and vegetables: A comprehensive review. *Foods*, *14*(24), 4334. https://doi.org/10.3390/foods14244334

Romero, P., Lafuente, M. T., & Alferez, F. (2021). Differential transcriptomic regulation in sweet orange fruit (*Citrus sinensis* L. Osbeck) following dehydration and rehydration conditions leading to peel damage. *Frontiers in Plant Science*, *12*, 732821. https://doi.org/10.3389/fpls.2021.732821

Soysal, F., & İsmail, O. (2017). Investigation of the effect of temperature and pretreatment on the rehydration capacities of dried nectarine slices. *Acta Scientiarum. Technology*, *39*(5), 551-561. https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v39i5.30412

Strano, M. C., Altieri, G., Allegra, M., Di Renzo, G. C., Paterna, G., Matera, A., & Genovese, F. (2022). Postharvest technologies of fresh citrus fruit: Advances and recent developments for the loss reduction during handling and storage. *Horticulturae*, *8*(7), 612. https://doi.org/10.3390/horticulturae8070612

Teruel, B., Kieckbusch, T., & Cortez, L. (2003). Enfriamiento de frutas cítricas de diferentes dimensiones en un sistema con agua fría. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, *5*(2), 70-75.

Trappey, A. F., Johnson, C. E., & Wilson, P. W. (2008). Characterization of juice extraction methods utilizing fresh mayhaw (*Crataegus opaca* Hook.) fruit. *International Journal of Fruit Science*, *8*(4), 318-331. https://doi.org/10.1080/15538360802597697

Wang, B., Jia, Y., Li, Y., Wang, Z., Wen, L., He, Y., & Xu, X. (2023). Dehydration–rehydration vegetables: Evaluation and future challenges. *Food Chemistry: X*, *20*, 100935. https://doi.org/10.1016/j.fochx.2023.100935

Wang, B., Li, Y., Lv, Y., Jiao, X., Wang, Z., He, Y., & Wen, L. (2024). Dehydration-rehydration mechanism of vegetables at the cell-wall and cell-membrane levels and future research challenges. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *64*(30), 11179-11195. https://doi.org/10.1080/10408398.2023.2233620

Witrowa-Rajchert, D., & Lewicki, P. P. (2006). Rehydration properties of dried plant tissues. *International Journal of Food Science and Technology*, *41*(9), 1040-1046. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.01164.x

Zura-Bravo, L., Ah-Hen, K., Vega-Gálvez, A., García-Segovia, P., & Lemus-Mondaca, R. (2013). Effect of rehydration temperature on functional properties, antioxidant capacity and structural characteristics of apple (*Granny Smith*) slices in relation to mass transfer kinetics. *Journal of Food Process Engineering*, *36*, 559-571. https://doi.org/10.1111/jfpe.12018

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mi madre Karin Montenegro Ugaz, por su amor incondicional, paciencia y apoyo constante que me impulsaron a alcanzar este sueño y superar cada desafío durante mi formación académica.

A mi tío William Montenegro, y a mis abuelos, Jorge Montenegro y Luz Linda Ugaz, por su guía, confianza y ejemplo perseverancia, que siempre me enseñaron a creer en mí mismo y a valorar cada esfuerzo.

A mis asesores, docentes y amigos, que se sumaron durante todo este proceso.

Jullius Abner García Montenegro

A mis padres Faustina Cespedes Flores y Renato Severino Catro que han sido el motor y motivo para hacer este sueño realidad; gracias por su sacrificio, sus palabras de aliento en los momentos difíciles fueron esencial para lograr esta meta. Espero se sientan orgullosos de ser mis padres, todo lo que logré y lograré de aquí en adelante es un tributo hacía ustedes. A mi hermana Ximena Severino Cespedes, por ser mi compañera en cada paso de este trayecto; gracias por compartir mis alegrías, tu apoyo ha sido fundamental para culminar con éxitos este sueño.

A mi fiel compañero Palomo, 12 años de lealtad, gracias por estar en los momentos buenos y difíciles desde la primaria, secundaria y también universitaria, con un movimiento de cola me demostrabas que compartías y sentías mi felicidad, me brindaste paz en mis momentos de estrés. Se que no puedes leer estas líneas, pero tus recuerdos siempre vivirán en mí.

Aldo Jose del Carmen Severino Cespedes

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradecemos a Dios por habernos permitido desarrollar y culminar con éxitos esta investigación. Asimismo, expresamos nuestro sincero agradecimiento a la Universidad Nacional de Jaén, nuestra casa superior de estudios, por habernos brindado los conocimientos y el espacio necesarios para nuestro desarrollo profesional y personal.

De manera especial, agradecemos a nuestros asesores, Dr. Ralph Stein Rivera Botonares y Dr. Ernesto Hernández Martínez, por su paciencia, guía y por compartirnos sus conocimientos, siendo fundamentales para el desarrollo y culminación de este proyecto de tesis.

Agradecemos también a la Dirección de la Vicepresidencia de Investigación, por su compromiso con la investigación académica de nuestra Universidad y por otorgarnos el financiamiento que hizo posible la ejecución de este proyecto. Gracias por su respaldo económico y confianza, los hallazgos de esta investigación pudieron concretarse de la mejor manera.

Desde lo personal, dedicamos estas líneas a nuestras familias, quienes han sido un pilar fundamental en los momentos difíciles. Gracias al sacrificio y el apoyo incondicional de aquellas personas que creyeron en este sueño, todo su esfuerzo queda plasmado en estas páginas de la investigación.

Finalmente, agradecemos como compañeros de tesis el apoyo mutuo durante este camino. La colaboración y complicidad fueron claves para superar los obstáculos y soportar las largas horas de estudio hasta la culminación de la investigación; más que dos compañeros de carpeta, nos hemos convertido en buenos amigos.

A todas las personas que, de manera directa o indirecta contribuyeron al desarrollo de esta investigación nuestra gratitud infinita.

ANEXOS

Anexo 1

Galería fotográfica del proceso de hidratación de las naranjas

Sistema de hidratación



Cosecha y secado de naranjas criollas



Llenado de tubos



Inmersión de naranjas



Anexo 2

Determinación de las variables fisicas de la naranja hidratada

Pesado de naranjas hidratadas



Diámetro polar y ecuatorial de la naranja



Contenido de humedad de la cáscara



Volumen relativo de jugo



Anexo 3

Determinación de las variables químicas de la naranja hidratada

Medición del pH del jugo de la naranja



Medición de los °Brix del zumo



Determinación de la Acidez titulable del zumo



Anexo 4

Valores experimentales de las variables fisicoquímicas durante la hidratación sometidas a distintas condiciones de temperatura, presión hidrostática y tiempo

Temperatura (°C)	Presión hidrostática (cm)	Tiempo (días)	Repetición	Δ Peso (%)	Δ Diámetro polar (%)	Δ Diámetro ecuatorial (%)	Humedad de cáscara (%)	Volumen relativo de jugo (%)	pH	°Brix	Acidez titulable (%)
5	30	1	1	0.10	0.17	1.32	67.21	43.73	3.68	10.0	1.20
5	30	1	2	0.25	0.37	0.55	71.80	45.25	3.64	8.1	1.44
5	30	1	3	0.46	0.17	0.18	69.20	42.99	3.64	8.5	1.05
5	30	2	1	20.14	3.18	6.27	78.88	21.77	3.83	11.2	1.55
5	30	2	2	0.32	0.54	1.09	67.40	48.27	3.58	8.4	1.54
5	30	2	3	0.33	0.53	0.89	74.40	39.99	3.65	9.3	1.35
5	30	3	1	25.86	8.32	5.77	81.97	36.30	3.71	10.2	1.61
5	30	3	2	2.59	0.70	1.05	69.90	40.66	3.68	10.0	1.92
5	30	3	3	27.65	12.11	5.68	79.80	30.65	3.46	11.0	1.79
5	30	4	1	0.74	2.45	3.31	65.49	46.40	3.93	10.1	1.66
5	30	4	2	1.30	1.11	1.55	68.00	46.23	3.66	9.3	1.71
5	30	4	3	44.71	9.78	12.04	84.50	30.99	3.46	10.3	1.48
5	60	1	1	12.22	4.61	5.60	65.77	43.24	3.91	9.2	1.42
5	60	1	2	1.12	0.34	0.35	68.10	44.83	3.73	10.3	1.60
5	60	1	3	0.38	0.75	0.38	62.40	38.96	3.20	8.1	1.54
5	60	2	1	14.54	8.82	2.08	74.31	34.65	3.74	10.4	1.47
5	60	2	2	0.28	0.66	0.34	71.70	45.50	3.78	9.0	1.41
5	60	2	3	16.31	4.72	3.31	73.10	37.48	3.84	7.3	0.97
5	60	3	1	0.56	1.62	0.76	65.66	42.35	3.61	8.0	1.93

Tabla (continuación)

Temperatura (°C)	Presión hidrostática (cm)	Tiempo (días)	Repetición	Δ Peso (%)	Δ Diámetro polar (%)	Δ Diámetro ecuatorial (%)	Humedad de cáscara (%)	Volumen relativo de jugo (%)	pH	°Brix	Acidez titulable (%)
5	60	3	2	0.62	1.08	0.87	72.20	44.91	3.92	8.3	1.35
5	60	3	3	48.84	10.04	11.84	87.10	31.97	3.79	7.2	1.00
5	60	4	1	40.12	13.54	12.10	86.45	39.54	3.87	6.3	1.07
5	60	4	2	34.33	8.03	7.05	86.60	36.70	3.93	9.0	1.67
5	60	4	3	46.49	14.55	11.28	87.90	30.57	3.32	10.2	1.64
5	90	1	1	0.24	0.33	1.29	69.27	46.41	3.6	10.1	1.73
5	90	1	2	24.89	4.68	3.78	83.10	41.17	3.62	9.2	1.57
5	90	1	3	0.19	0.37	0.18	66.10	44.02	3.43	10.0	1.48
5	90	2	1	0.59	0.49	0.63	65.54	39.61	3.82	8.0	1.63
5	90	2	2	0.52	2.04	0.91	63.90	46.43	3.55	10.1	1.77
5	90	2	3	1.28	0.78	0.55	66.60	44.77	3.45	10.1	1.54
5	90	3	1	0.56	2.26	0.97	68.35	43.86	3.5	8.0	1.66
5	90	3	2	1.37	1.80	1.45	64.20	47.87	3.51	10.1	1.82
5	90	3	3	1.47	2.26	0.73	67.20	41.57	3.65	10.0	1.52
5	90	4	1	1.26	4.43	1.45	67.07	40.62	3.72	10.3	1.51
5	90	4	2	2.00	1.26	1.38	74.20	45.51	3.53	10.0	1.73
5	90	4	3	0.27	1.21	1.51	67.00	47.34	3.28	10.3	1.57
15	30	1	1	0.25	1.32	0.84	64.43	47.91	3.35	13.0	1.57
15	30	1	2	0.96	0.68	0.36	62.90	48.92	3.51	9.0	1.35
15	30	1	3	1.05	0.51	0.17	64.60	44.57	3.45	10.0	1.38
15	30	2	1	0.70	1.13	0.84	65.67	47.26	3.37	10.0	2.10
15	30	2	2	1.04	1.69	1.09	68.30	46.94	3.5	9.3	1.36

Tabla (continuación)

Temperatura (°C)	Presión hidrostática (cm)	Tiempo (días)	Repetición	Δ Peso (%)	Δ Diámetro polar (%)	Δ Diámetro ecuatorial (%)	Humedad de cáscara (%)	Volumen relativo de jugo (%)	pH	°Brix	Acidez titulable (%)
15	30	2	3	3.37	0.68	1.16	69.40	45.63	3.48	9.5	1.32
15	30	3	1	1.18	1.80	1.37	65.55	43.97	3.4	10.5	1.80
15	30	3	2	1.44	1.98	0.88	67.70	44.69	3.59	8.2	1.03
15	30	3	3	2.96	1.48	1.34	67.80	45.25	3.43	9.2	1.35
15	30	4	1	1.34	1.63	1.33	64.99	45.14	3.43	10.2	1.71
15	30	4	2	10.83	8.26	4.83	79.40	43.46	3.43	10.0	1.38
15	30	4	3	19.84	7.07	4.70	74.40	44.65	3.51	10.1	1.22
15	60	1	1	0.64	1.53	0.52	67.57	42.48	3.1	13.8	2.18
15	60	1	2	1.19	1.50	0.36	61.70	47.38	3.45	9.0	1.27
15	60	1	3	0.74	0.34	0.53	60.80	45.64	3.47	9.5	1.30
15	60	2	1	0.67	1.57	0.87	62.82	47.09	3.29	10.0	2.42
15	60	2	2	0.92	1.72	0.56	62.00	48.32	3.53	10.0	1.19
15	60	2	3	1.41	0.84	0.70	61.00	42.88	3.58	10.0	1.23
15	60	3	1	1.13	1.31	1.25	64.58	45.34	3.26	9.0	2.45
15	60	3	2	1.72	2.61	0.93	62.60	47.76	3.45	9.4	1.38
15	60	3	3	3.47	1.20	1.24	61.50	43.40	3.42	9.3	1.29
15	60	4	1	5.56	1.91	1.34	76.91	41.60	3.23	8.1	2.43
15	60	4	2	2.30	2.58	1.98	70.40	47.49	3.42	9.0	1.20
15	60	4	3	6.70	4.57	6.84	70.30	44.48	3.44	9.4	1.35
15	90	1	1	0.76	1.62	0.54	63.36	47.34	3.18	13.2	2.26
15	90	1	2	0.82	0.74	0.38	64.80	48.80	3.4	9.1	1.35
15	90	1	3	0.74	0.88	0.36	62.90	44.92	3.43	9.5	1.35

Tabla (continuación)

Temperatura (°C)	Presión hidrostática (cm)	Tiempo (días)	Repetición	Δ Peso (%)	Δ Diámetro polar (%)	Δ Diámetro ecuatorial (%)	Humedad de cáscara (%)	Volumen relativo de jugo (%)	pH	°Brix	Acidez titulable (%)
15	90	2	1	1.20	2.23	1.08	66.79	40.79	3.13	8.9	2.37
15	90	2	2	3.29	2.90	0.57	58.90	46.25	3.53	10.4	1.39
15	90	2	3	1.37	1.77	0.88	68.40	45.06	3.51	10.1	1.28
15	90	3	1	1.89	4.40	1.58	68.62	41.84	3.27	9.5	2.20
15	90	3	2	2.49	2.48	1.29	67.70	46.27	3.59	8.2	1.22
15	90	3	3	1.31	1.79	1.41	67.70	46.69	3.47	9.2	1.31
15	90	4	1	49.13	12.41	14.08	69.17	30.97	3.41	9.0	2.07
15	90	4	2	3.99	2.36	1.49	64.80	48.14	3.61	9.2	1.22
15	90	4	3	1.56	1.75	2.06	79.40	51.68	3.44	9.3	1.29

Nota: Los valores experimentales corresponden a las mediciones realizadas en función de la temperatura (°C), presión de la columna de agua (cm) y los 4 días de hidratación, con tres repeticiones por condición evaluada. El volumen relativo de jugo (%) corresponde a la relación entre el volumen de jugo extraído y el peso de la naranja hidratada, expresado en mL por cada 100 g.

Anexo 5

Efectos principales de los factores y sus interacciones de las variables de estudio

Factor		Δ Peso (%)	Δ Diámetro polar (%)	Δ Diámetro ecuatorial (%)	Humedad de cáscara (%)	Volumen relativo de jugo (%)	pH	°Brix	Acidez titulable (%)
Temperatura (°C)	5 °C	10.41 ± 1.84a	3.61 ± 0.46a	3.07 ± 0.45a	72.29 ± 0.83a	40.92 ± 0.84b	3.65 ± 0.03a	9.33 ± 0.20a	1.53 ± 0.07a
	15 °C	3.89 ± 1.84b	2.37 ± 0.46a	1.72 ± 0.45b	66.66 ± 0.83b	45.31 ± 0.84a	3.42 ± 0.03b	9.75 ± 0.20a	1.57 ± 0.07a
Presión hidrostática (cm)	30 cm	7.06 ± 2.25a	2.82 ± 0.56a	2.44 ± 0.55a	70.57 ± 1.02a	42.57 ± 1.03a	3.56 ± 0.03a	9.81 ± 0.24a	1.49 ± 0.08a
	60 cm	10.09 ± 2.25a	3.77 ± 0.56a	3.04 ± 0.55a	70.14 ± 1.02a	42.27 ± 1.03a	3.55 ± 0.03a	9.16 ± 0.24a	1.53 ± 0.08a
	90 cm	4.30 ± 2.25a	2.39 ± 0.56a	1.69 ± 0.55a	67.71 ± 1.02a	44.50 ± 1.03a	3.48 ± 0.03a	9.66 ± 0.24a	1.62 ± 0.08a
Tiempo (días)	Día 1	2.61 ± 2.60b	1.16 ± 0.65b	0.98 ± 0.64b	66.45 ± 1.18b	44.92 ± 1.19a	3.49 ± 0.04a	9.98 ± 0.28a	1.50 ± 0.09a
	Día 2	3.79 ± 2.60b	2.01 ± 0.65b	1.32 ± 0.64b	67.73 ± 1.18b	42.71 ± 1.19a	3.56 ± 0.04a	9.56 ± 0.28a	1.55 ± 0.09a
	Día 3	7.06 ± 2.60ab	3.29 ± 0.65ab	2.24 ± 0.64b	69.45 ± 1.18b	42.52 ± 1.19a	3.54 ± 0.04a	9.18 ± 0.28a	1.59 ± 0.09a
	Día 4	15.14 ± 2.60a	5.49 ± 0.65a	5.02 ± 0.64a	74.28 ± 1.18a	42.31 ± 1.19a	3.53 ± 0.04a	9.45 ± 0.28a	1.55 ± 0.09a

Nota: Los valores corresponden a la media ± error estándar (EE). El EE se mantiene constante para los niveles porque se obtuvo a partir de todas las repeticiones. Letras distintas indican diferencias significativas entre los factores ($p < 0.05$).

Anexo 6

Interacciones dobles entre los niveles de los factores

Factor		Δ Peso (%)	Δ Diámetro polar (%)	Δ Diámetro ecuatorial (%)	Humedad de cáscara (%)	Volumen relativo de jugo (%)	pH	°Brix	Acidez titulable (%)
Temperatura * Presión hidrostática	5 °C*30 cm	10.37 ± 3.18ab	3.28 ± 0.80ab	3.31 ± 0.78ab	73.21 ± 1.44ab	39.44 ± 1.46b	3.66 ± 0.05ab	9.70 ± 0.34a	1.53 ± 0.11a
	5 °C 60 cm	17.98 ± 3.18a	5.73 ± 0.80a	4.66 ± 0.78a	75.11 ± 1.44a	39.23 ± 1.46b	3.72 ± 0.05a	8.61 ± 0.34a	1.42 ± 0.11a
	5 °C 90 cm	2.89 ± 3.18b	1.83 ± 0.80b	1.24 ± 0.78b	68.54 ± 1.44bc	44.10 ± 1.46ab	3.56 ± 0.05abc	9.68 ± 0.34a	1.63 ± 0.11a
	15 °C*30 cm	3.75 ± 3.18b	2.35 ± 0.80b	1.57 ± 0.78ab	67.93 ± 1.44bc	45.70 ± 1.46a	3.45 ± 0.05bc	9.92 ± 0.34a	1.46 ± 0.11a
	15 °C*60 cm	2.20 ± 3.18b	1.81 ± 0.80b	1.43 ± 0.78ab	65.18 ± 1.44c	45.32 ± 1.46ab	3.39 ± 0.05c	9.71 ± 0.34a	1.64 ± 0.11a
	15 °C*90 cm	5.71 ± 3.18ab	2.95 ± 0.80ab	2.14 ± 0.78ab	66.88 ± 1.44c	44.90 ± 1.46ab	3.41 ± 0.05c	9.63 ± 0.34a	1.61 ± 0.11a
Temperatura * Tiempo	5 °C*Día 1	4.43 ± 3.67ab	1.31 ± 0.92b	1.51 ± 0.90b	69.22 ± 1.66abcd	43.40 ± 1.69a	3.61 ± 0.06abc	9.28 ± 0.40a	1.45 ± 0.13a
	5 °C*Día 2	6.03 ± 3.67ab	2.42 ± 0.92ab	1.79 ± 0.90ab	70.65 ± 1.66abcd	39.83 ± 1.69a	3.69 ± 0.06a	9.31 ± 0.40a	1.47 ± 0.13a
	5 °C*Día 3	12.17 ± 3.67ab	4.46 ± 0.92ab	3.24 ± 0.90ab	72.93 ± 1.66ab	40.02 ± 1.69a	3.65 ± 0.06ab	9.20 ± 0.40a	1.62 ± 0.13a
	5 °C*Día 4	19.02 ± 3.67a	6.26 ± 0.92a	5.74 ± 0.90a	76.36 ± 1.66a	40.43 ± 1.69a	3.63 ± 0.06ab	9.53 ± 0.40a	1.56 ± 0.13a
	15 °C*Día 1	0.79 ± 3.67b	1.02 ± 0.92b	0.45 ± 0.90b	63.67 ± 1.66d	46.44 ± 1.69a	3.37 ± 0.06c	10.68 ± 0.40a	1.56 ± 0.13a
	15 °C*Día 2	1.55 ± 3.67b	1.61 ± 0.92b	0.86 ± 0.90b	64.81 ± 1.66cd	45.58 ± 1.69a	3.44 ± 0.06bc	9.80 ± 0.40a	1.63 ± 0.13a
	15 °C*Día 3	1.95 ± 3.67b	2.12 ± 0.92b	1.25 ± 0.90b	65.97 ± 1.66bcd	45.02 ± 1.69a	3.43 ± 0.06bc	9.17 ± 0.40a	1.56 ± 0.13a
	15 °C*Día 4	11.25 ± 3.67ab	4.73 ± 0.92ab	4.30 ± 0.90ab	72.20 ± 1.66abc	44.18 ± 1.69a	3.44 ± 0.06bc	9.37 ± 0.40a	1.54 ± 0.13a
Presión hidrostática * Tiempo	30 cm*Día 1	0.51 ± 4.50b	0.54 ± 1.13b	0.57 ± 1.10b	66.69 ± 2.04b	45.56 ± 2.07a	3.55 ± 0.07a	9.77 ± 0.49a	1.33 ± 0.16a
	30 cm*Día 2	4.32 ± 4.50ab	1.29 ± 1.13b	1.89 ± 1.10ab	70.68 ± 2.04ab	41.64 ± 2.07a	3.57 ± 0.07a	9.62 ± 0.49a	1.54 ± 0.16a
	30 cm*Día 3	10.28 ± 4.50ab	4.40 ± 1.13ab	2.68 ± 1.10ab	72.12 ± 2.04ab	40.25 ± 2.07a	3.55 ± 0.07a	9.85 ± 0.49a	1.58 ± 0.16a
	30 cm*Día 4	13.13 ± 4.50ab	5.05 ± 1.13ab	4.63 ± 1.10ab	72.80 ± 2.04ab	42.81 ± 2.07a	3.57 ± 0.07a	10.00 ± 0.49a	1.53 ± 0.16a
	60 cm*Día 1	2.72 ± 4.50ab	1.51 ± 1.13b	1.29 ± 1.10b	64.39 ± 2.04b	43.76 ± 2.07a	3.48 ± 0.07a	9.98 ± 0.49a	1.55 ± 0.16a
	60 cm*Día 2	5.69 ± 4.50ab	3.05 ± 1.13ab	1.31 ± 1.10b	67.49 ± 2.04b	42.65 ± 2.07a	3.63 ± 0.07a	9.45 ± 0.49a	1.45 ± 0.16a
	60 cm*Día 3	9.39 ± 4.50ab	2.97 ± 1.13ab	2.81 ± 1.10ab	68.94 ± 2.04b	42.62 ± 2.07a	3.58 ± 0.07a	8.53 ± 0.49a	1.57 ± 0.16a
	60 cm*Día 4	22.58 ± 4.50a	7.53 ± 1.13a	6.77 ± 1.10a	79.76 ± 2.04a	40.06 ± 2.07a	3.54 ± 0.07a	8.67 ± 0.49a	1.56 ± 0.16a
	90 cm*Día 1	4.61 ± 4.50ab	1.44 ± 1.13b	1.09 ± 1.10b	68.26 ± 2.04b	45.44 ± 2.07a	3.44 ± 0.07a	10.18 ± 0.49a	1.62 ± 0.16a
	90 cm*Día 2	1.38 ± 4.50ab	1.70 ± 1.13b	0.77 ± 1.10b	65.02 ± 2.04b	43.82 ± 2.07a	3.50 ± 0.07a	9.60 ± 0.49a	1.66 ± 0.16a
	90 cm*Día 3	1.51 ± 4.50ab	2.50 ± 1.13ab	1.24 ± 1.10b	67.30 ± 2.04b	44.68 ± 2.07a	3.50 ± 0.07a	9.17 ± 0.49a	1.62 ± 0.16a
	90 cm*Día 4	9.70 ± 4.50ab	3.90 ± 1.13ab	3.66 ± 1.10ab	70.27 ± 2.04ab	44.04 ± 2.07a	3.50 ± 0.07a	9.68 ± 0.49a	1.57 ± 0.16a

Nota: Los valores corresponden a la media ± error estándar (EE). El EE se mantiene constante para las combinaciones porque se obtuvo a partir de todas las repeticiones. Letras distintas indican diferencias significativas entre los factores ($p < 0.05$).

Anexo 7

Interacciones triples entre los niveles de los factores

Factor		Δ Peso (%)	Δ Diámetro polar (%)	Δ Diámetro ecuatorial (%)	Humedad de cáscara (%)	Volumen relativo de jugo (%)	pH	°Brix	Acidez titulable (%)
Temperatura * Presión idrostática * Tiempo	5 °C *30 cm*Día 1	0.27 ± 6.36b	0.23 ± 1.59b	0.68 ± 1.56b	69.40 ± 2.88b	43.99 ± 2.93a	3.65 ± 0.10a	8.87 ± 0.69a	1.23 ± 0.23a
	5 °C*30 cm*Día 2	6.93 ± 6.36ab	1.41 ± 1.59b	2.75 ± 1.56ab	73.56 ± 2.88ab	36.68 ± 2.93a	3.69 ± 0.10a	9.63 ± 0.69a	1.48 ± 0.23a
	5 °C*30 cm*Día 3	18.70 ± 6.36ab	7.04 ± 1.59ab	4.17 ± 1.56ab	77.22 ± 2.88ab	35.87 ± 2.93a	3.62 ± 0.10a	10.40 ± 0.69a	1.77 ± 0.23a
	5 °C*30 cm*Día 4	15.58 ± 6.36ab	4.45 ± 1.59ab	5.63 ± 1.56ab	72.66 ± 2.88ab	41.21 ± 2.93a	3.68 ± 0.10a	9.90 ± 0.69a	1.62 ± 0.23a
	5 °C*60 cm*Día 1	4.57 ± 6.36b	1.90 ± 1.59b	2.11 ± 1.56ab	65.42 ± 2.88b	42.34 ± 2.93a	3.61 ± 0.10a	9.20 ± 0.69a	1.52 ± 0.23a
	5 °C*60 cm*Día 2	10.38 ± 6.36ab	4.73 ± 1.59ab	1.91 ± 1.56ab	73.04 ± 2.88ab	39.21 ± 2.93a	3.79 ± 0.10a	8.90 ± 0.69a	1.28 ± 0.23a
	5 °C*60 cm*Día 3	16.67 ± 6.36ab	4.24 ± 1.59ab	4.49 ± 1.56ab	74.99 ± 2.88ab	39.74 ± 2.93a	3.77 ± 0.10a	7.83 ± 0.69a	1.43 ± 0.23a
	5 °C*60 cm*Día 4	40.31 ± 6.36a	12.04 ± 1.59a	10.14 ± 1.56a	86.98 ± 2.88a	35.60 ± 2.93a	3.71 ± 0.10a	8.50 ± 0.69a	1.46 ± 0.23a
	5 °C*90 cm*Día 1	8.44 ± 6.36ab	1.80 ± 1.59b	1.75 ± 1.56ab	72.82 ± 2.88ab	43.87 ± 2.93a	3.55 ± 0.10a	9.77 ± 0.69a	1.59 ± 0.23a
	5 °C*90 cm*Día 2	0.80 ± 6.36b	1.10 ± 1.59b	0.70 ± 1.56b	65.35 ± 2.88b	43.60 ± 2.93a	3.61 ± 0.10a	9.40 ± 0.69a	1.65 ± 0.23a
	5 °C*90 cm*Día 3	1.13 ± 6.36b	2.11 ± 1.59b	1.05 ± 1.56b	66.58 ± 2.88b	44.43 ± 2.93a	3.55 ± 0.10a	9.37 ± 0.69a	1.67 ± 0.23a
	5 °C*90 cm*Día 4	1.18 ± 6.36b	2.30 ± 1.59b	1.45 ± 1.56b	69.42 ± 2.88b	44.49 ± 2.93a	3.51 ± 0.10a	10.20 ± 0.69a	1.60 ± 0.23a
	15 °C*30 cm*Día 1	0.75 ± 6.36b	0.84 ± 1.59b	0.45 ± 1.56b	63.78 ± 2.88b	47.13 ± 2.93a	3.44 ± 0.10a	10.67 ± 0.69a	1.43 ± 0.23a
	15 °C*30 cm*Día 2	1.70 ± 6.36b	1.17 ± 1.59b	1.03 ± 1.56b	67.79 ± 2.88b	46.61 ± 2.93a	3.45 ± 0.10a	9.60 ± 0.69a	1.59 ± 0.23a
	15 °C*30 cm*Día 3	1.86 ± 6.36b	1.75 ± 1.59b	1.20 ± 1.56b	67.02 ± 2.88b	44.64 ± 2.93a	3.47 ± 0.10a	9.30 ± 0.69a	1.39 ± 0.23a
	15 °C*30 cm*Día 4	10.67 ± 6.36ab	5.65 ± 1.59ab	3.62 ± 1.56ab	72.93 ± 2.88ab	44.42 ± 2.93a	3.46 ± 0.10a	10.10 ± 0.69a	1.44 ± 0.23a
	15 °C*60 cm*Día 1	0.86 ± 6.36b	1.13 ± 1.59b	0.47 ± 1.56b	63.36 ± 2.88b	45.17 ± 2.93a	3.34 ± 0.10a	10.77 ± 0.69a	1.58 ± 0.23a
	15 °C*60 cm*Día 2	1.00 ± 6.36b	1.38 ± 1.59b	0.71 ± 1.56b	61.94 ± 2.88b	46.10 ± 2.93a	3.47 ± 0.10a	10.00 ± 0.69a	1.61 ± 0.23a
	15 °C*60 cm*Día 3	2.11 ± 6.36b	1.71 ± 1.59b	1.14 ± 1.56b	62.89 ± 2.88b	45.50 ± 2.93a	3.38 ± 0.10a	9.23 ± 0.69a	1.71 ± 0.23a
	15 °C*60 cm*Día 4	4.85 ± 6.36b	3.02 ± 1.59b	3.39 ± 1.56ab	72.54 ± 2.88ab	44.52 ± 2.93a	3.36 ± 0.10a	8.83 ± 0.69a	1.66 ± 0.23a
	15 °C*90 cm*Día 1	0.77 ± 6.36b	1.08 ± 1.59b	0.43 ± 1.56b	63.69 ± 2.88b	47.02 ± 2.93a	3.34 ± 0.10a	10.60 ± 0.69a	1.65 ± 0.23a
	15 °C*90 cm*Día 2	1.95 ± 6.36b	2.30 ± 1.59b	0.84 ± 1.56b	64.70 ± 2.88b	44.03 ± 2.93a	3.39 ± 0.10a	9.80 ± 0.69a	1.68 ± 0.23a
	15 °C*90 cm*Día 3	1.90 ± 6.36b	2.89 ± 1.59b	1.43 ± 1.56b	68.01 ± 2.88b	44.93 ± 2.93a	3.44 ± 0.10a	8.97 ± 0.69a	1.58 ± 0.23a
	15 °C*90 cm*Día 4	18.23 ± 6.36ab	5.51 ± 1.59ab	5.88 ± 1.56ab	71.12 ± 2.88b	43.60 ± 2.93a	3.49 ± 0.10a	9.17 ± 0.69a	1.53 ± 0.23a

Nota: Los valores corresponden a la media ± error estándar (EE), a partir de n = 3 repeticiones. Letras distintas indican diferencias significativas entre los factores ($p < 0.05$).

Anexo 8

Ajuste polinómico de la diferencia de peso (%) y estimación del valor al cuarto día de hidratación

Tratamiento	Ecuación Polinómica	R^2	R^2_{adj}	MRSE	Día 4
T1	$y = -2.445x^2 + 17.995x - 16.28$	0.9049	0.8838	3.4837	16.58
T2	$y = 4.4575x^2 - 10.937x + 11.893$	0.9807	0.9764	0.0292	39.47
T3	$y = 1.9225x^2 - 11.758x + 17.863$	0.9174	0.8990	0.9290	1.59
T4	$y = 1.965x^2 - 6.833x + 6.09$	0.9311	0.9158	0.4178	10.20
T5	$y = 0.65x^2 - 1.942x + 2.185$	0.9979	0.9974	0.0034	4.82
T6	$y = 3.7875x^2 - 13.705x + 11.568$	0.9261	0.9097	1.2692	17.35

Nota: Los tratamientos corresponden a las combinaciones de temperatura y presión hidrostática: T1 (5 °C * 30 cm), T2 (5 °C * 60 cm), T3 (5 °C * 90 cm), T4 (15 °C * 30 cm), T5 (15 °C * 60 cm) y T6 (15 °C * 90 cm). El valor estimado al cuarto día fue obtenido a partir de las ecuaciones de regresión polinómica de la diferencia de peso (%) obtenidas en cada tratamiento.

Anexo 9

Ajuste polinómico de la diferencia del diámetro polar (%) y estimación del valor al cuarto día de hidratación

Tratamiento	Ecuación Polinómica	R^2	R^2_{adj}	MRSE	Día 4
T1	$y = 0.3525x^2 + 0.5845x - 0.8225$	0.9906	0.9885	0.0797	7.16
T2	$y = 1.2425x^2 - 3.2195x + 4.4575$	0.8832	0.8572	0.1000	11.46
T3	$y = 0.2225x^2 - 0.8615x + 2.3125$	0.6158	0.5304	0.0398	2.43
T4	$y = 0.8925x^2 - 2.9615x + 3.0625$	0.9684	0.9614	0.0646	5.50
T5	$y = 0.265x^2 - 0.725x + 1.635$	0.9809	0.9767	0.0044	2.98
T6	$y = 0.35x^2 - 0.362x + 1.225$	0.9662	0.9587	0.0162	5.38

Nota: Los tratamientos corresponden a las combinaciones de temperatura y presión hidrostática: T1 (5 °C * 30 cm), T2 (5 °C * 60 cm), T3 (5 °C * 90 cm), T4 (15 °C * 30 cm), T5 (15 °C * 60 cm) y T6 (15 °C * 90 cm). El valor estimado al cuarto día fue obtenido a partir de las ecuaciones de regresión polinómica de la diferencial del diámetro polar (%) obtenidas en cada tratamiento.

Anexo 10

Ajuste polinómico de la diferencia del diámetro ecuatorial (%) y estimación del valor al cuarto día de hidratación

Tratamiento	Ecuación Polinómica	R^2	R^2_{adj}	MRSE	Día 4
T1	$y = -0.1525x^2 + 2.3895x - 1.5225$	0.9982	0.9978	0.0012	5.60
T2	$y = 1.4625x^2 - 4.6455x + 5.3075$	0.9999	0.9999	0.0002	10.13
T3	$y = 0.3625x^2 - 1.8675x + 3.1875$	0.8558	0.8238	0.0311	1.52
T4	$y = 0.46x^2 - 1.332x + 1.455$	0.9399	0.9265	0.0873	3.49
T5	$y = 0.5025x^2 - 1.5935x + 1.6425$	0.9752	0.9697	0.0488	3.31
T6	$y = 1.01x^2 - 3.356x + 2.96$	0.9646	0.9567	0.1912	5.70

Nota: Los tratamientos corresponden a las combinaciones de temperatura y presión hidrostática: T1 (5 °C * 30 cm), T2 (5 °C * 60 cm), T3 (5 °C * 90 cm), T4 (15 °C * 30 cm), T5 (15 °C * 60 cm) y T6 (15 °C * 90 cm). El valor estimado al cuarto día fue obtenido a partir de las ecuaciones de regresión polinómica del diámetro ecuatorial (%) obtenidas en cada tratamiento.

Anexo 11

Ajuste polinómico del contenido de humedad en la cáscara (%) y estimación del valor al cuarto día de hidratación

Tratamiento	Ecuación Polinómica	R^2	R^2_{adj}	MRSE	Día 4
T1	$y = -2.18x^2 + 12.244x + 58.95$	0.9039	0.8825	0.0001	73.05
T2	$y = 1.0925x^2 + 1.2005x + 63.913$	0.9484	0.9369	0.0006	86.20
T3	$y = 2.5775x^2 - 13.785x + 83.673$	0.9241	0.9072	0.0001	69.77
T4	$y = 0.525x^2 - 0.017x + 64.035$	0.8471	0.8131	0.0003	72.37
T5	$y = 2.7675x^2 - 10.989x + 71.897$	0.9726	0.9665	0.0001	72.22
T6	$y = 0.525x^2 - 0.065x + 63.105$	0.9909	0.9889	0.0000	71.25

Nota: Los tratamientos corresponden a las combinaciones de temperatura y presión hidrostática: T1 (5 °C * 30 cm), T2 (5 °C * 60 cm), T3 (5 °C * 90 cm), T4 (15 °C * 30 cm), T5 (15 °C * 60 cm) y T6 (15 °C * 90 cm). El valor estimado al cuarto día fue obtenido a partir de las ecuaciones de regresión polinómica del contenido de humedad en la cáscara (%) obtenidas en cada tratamiento.

Anexo 12

Ajuste polinómico del volumen relativo de jugo (%) y estimación de su valor al cuarto día de hidratación

Tratamiento	Ecuación Polinómica	R^2	R^2_{adj}	MRSE	Día 4
T1	$y = 4.6625x^2 - 26.028x + 71.038$	0.9840	0.9804	0.0004	41.53
T2	$y = -0.2525x^2 - 0.7065x + 42.883$	0.8499	0.8165	0.0006	36.02
T3	$y = 0.0825x^2 - 0.1435x + 43.837$	0.6899	0.6210	0.0003	45.73
T4	$y = 0.075x^2 - 1.385x + 48.6$	0.9091	0.8889	0.0001	44.26
T5	$y = -0.4775x^2 + 2.1325x + 43.572$	0.9493	0.9380	0.0000	44.46
T6	$y = 0.415x^2 - 3.011x + 49.31$	0.7302	0.6702	0.0002	43.91

Nota: Los tratamientos corresponden a las combinaciones de temperatura y presión hidrostática: T1 (5 °C * 30 cm), T2 (5 °C * 60 cm), T3 (5 °C * 90 cm), T4 (15 °C * 30 cm), T5 (15 °C * 60 cm) y T6 (15 °C * 90 cm). El valor estimado al cuarto día fue obtenido a partir de las ecuaciones de regresión polinómica del volumen relativo de jugo (%) obtenidas en cada tratamiento.

Anexo 13

Ajuste polinómico del pH y estimación de su valor al cuarto día de hidratación

Tratamiento	Ecuación Polinómica	R^2	R^2_{adj}	MRSE	Día 4
T1	$y = 0.005x^2 - 0.023x + 3.68$	0.0400	-0.1733	0.0001	3.67
T2	$y = -0.06x^2 + 0.328x + 3.35$	0.9347	0.9202	0.0000	3.70
T3	$y = -0.025x^2 + 0.107x + 3.475$	0.8078	0.7651	0.0000	3.50
T4	$y = -0.0042x^2 + 0.0301x + 3.4122$	0.8725	0.8442	0.0000	3.47
T5	$y = -0.0375x^2 + 0.1845x + 3.2075$	0.5742	0.4796	0.0001	3.35
T6	$y = 0.05x + 3.29$	1.000	1.0000	0.0000	3.49

Nota: Los tratamientos corresponden a las combinaciones de temperatura y presión hidrostática: T1 (5 °C * 30 cm), T2 (5 °C * 60 cm), T3 (5 °C * 90 cm), T4 (15 °C * 30 cm), T5 (15 °C * 60 cm) y T6 (15 °C * 90 cm). El valor estimado al cuarto día fue obtenido a partir de las ecuaciones de regresión polinómica del pH obtenidas en cada tratamiento.

Anexo 14

Ajuste polinómico de los °Brix y estimación de su valor al cuarto día de hidratación

Tratamiento	Ecuación Polinómica	R^2	R^2_{adj}	MRSE	Día 4
T1	$y = -0.315x^2 + 1.961x + 7.16$	0.9331	0.9182	0.0002	9.96
T2	$y = 0.2425x^2 - 1.5295x + 10.613$	0.7008	0.6343	0.0011	8.38
T3	$y = 0.3x^2 - 1.374x + 10.87$	0.9701	0.9635	0.0000	10.17
T4	$y = 0.4675x^2 - 2.5385x + 12.758$	0.995	0.9939	0.0000	10.08
T5	$y = 0.0925x^2 - 1.1215x + 11.818$	0.9969	0.9962	0.0000	8.81
T6	$y = 0.25x^2 - 1.762x + 12.165$	0.9653	0.9576	0.0002	9.12

Nota: Los tratamientos corresponden a las combinaciones de temperatura y presión hidrostática: T1 (5 °C * 30 cm), T2 (5 °C * 60 cm), T3 (5 °C * 90 cm), T4 (15 °C * 30 cm), T5 (15 °C * 60 cm) y T6 (15 °C * 90 cm). El valor estimado al cuarto día fue obtenido a partir de las ecuaciones de regresión polinómica de los °Brix obtenidas en cada tratamiento.

Anexo 15

Ajuste polinómico de la acidez titulable y estimación de su valor al cuarto día de hidratación

Tratamiento	Ecuación Polinómica	R^2	R^2_{adj}	MRSE	Día 4
T1	$y = -0.1x^2 + 0.646x + 0.66$	0.9271	0.9109	0.0012	1.64
T2	$y = 0.0675x^2 - 0.3405x + 1.7675$	0.5842	0.4918	0.0018	1.49
T3	$y = -0.0325x^2 + 0.1675x + 1.4525$	0.9721	0.9659	0.3182	0.26
T4	$y = -0.0275x^2 + 0.1205x + 1.3675$	0.1937	0.0145	0.2088	0.45
T5	$y = -0.02x^2 + 0.134x + 1.455$	0.7531	0.6982	0.0002	1.67
T6	$y = -0.02x^2 + 0.054x + 1.625$	0.8826	0.8565	0.0002	1.52

Nota: Los tratamientos corresponden a las combinaciones de temperatura y presión hidrostática: T1 (5 °C * 30 cm), T2 (5 °C * 60 cm), T3 (5 °C * 90 cm), T4 (15 °C * 30 cm), T5 (15 °C * 60 cm) y T6 (15 °C * 90 cm). El valor estimado al cuarto día fue obtenido a partir de las ecuaciones de regresión polinómica de la acidez titulable obtenidas en cada tratamiento.

Anexo 16

Efecto de las combinaciones de temperatura y presión sobre el peso de las naranjas durante la desecación y la hidratación al cuarto día

Tabla 3

Diferencia porcentual del peso de las naranjas durante la desecación y la hidratación a 5 °C al cuarto día

Tratamiento	Fresca (%)	Desecada (%)	Hidratada (%)
T1	0.00	-14.77	15.58
T2	0.00	-14.77	40.31
T3	0.00	-14.77	1.18

Nota: El valor 0.00 corresponde al estado inicial de la naranja. Los valores negativos indican pérdida de peso tras la desecación respecto al estado fresco. Los valores positivos representan la recuperación porcentual del peso al cuarto día de hidratación. Los tratamientos evaluados: T1 (5 °C * 30 cm), T2 (5 °C * 60 cm) y T3 (5 °C * 90 cm).

Tabla 4

Diferencia porcentual del peso de las naranjas durante la desecación y la hidratación a 15 °C al cuarto día

Tratamiento	Fresca (%)	Desecada (%)	Hidratada (%)
T4	0.00	-23.06	10.67
T5	0.00	-23.06	4.85
T6	0.00	-23.06	18.23

Nota: El valor 0.00 corresponde al estado inicial de la naranja. Los valores negativos indican pérdida de peso tras la desecación respecto al estado fresco. Los valores positivos representan la recuperación porcentual del peso al cuarto día de hidratación. Los tratamientos evaluados: T4 (15 °C * 30 cm), T5 (15 °C * 60 cm) y T6 (15 °C * 90 cm).

Anexo 17

Efecto de las combinaciones de temperatura y presión sobre el diámetro polar de las naranjas durante la desecación y la hidratación al cuarto día

Tabla 5

Diferencia porcentual del diámetro polar de las naranjas durante la desecación y la hidratación a 5 °C al cuarto día

Tratamiento	Fresca (%)	Desecada (%)	Hidratada (%)
T1	0.00	-11.62	7.04
T2	0.00	-11.62	12.04
T3	0.00	-11.62	2.30

Nota: El valor 0.00 corresponde al estado inicial de la naranja. Los valores negativos indican pérdida del diámetro polar tras la desecación respecto al estado fresco. Los valores positivos representan la recuperación porcentual del diámetro polar al cuarto día de hidratación. Los tratamientos evaluados: T1 (5 °C * 30 cm), T2 (5 °C * 60 cm) y T3 (5 °C * 90 cm).

Tabla 6

Diferencia porcentual del diámetro polar de las naranjas durante la desecación y la hidratación a 15 °C al cuarto día

Tratamiento	Fresca (%)	Desecada (%)	Hidratada (%)
T4	0.00	-9.11	5.65
T5	0.00	-9.11	3.02
T6	0.00	-9.11	5.51

Nota: El valor 0.00 corresponde al estado inicial de la naranja. Los valores negativos indican pérdida del diámetro polar tras la desecación respecto al estado fresco. Los valores positivos representan la recuperación porcentual del diámetro polar al cuarto día de hidratación. Los tratamientos evaluados: T4 (15 °C * 30 cm), T5 (15 °C * 60 cm) y T6 (15 °C * 90 cm).

Anexo 18

Efecto de las combinaciones de temperatura y presión sobre el diámetro ecuatorial de las naranjas durante la desecación y la hidratación al cuarto día

Tabla 7

Diferencia porcentual del diámetro ecuatorial de las naranjas durante la desecación y la hidratación a 5 °C al cuarto día

Tratamiento	Fresca (%)	Desecada (%)	Hidratada (%)
T1	0.00	-8.55	5.63
T2	0.00	-8.55	10.14
T3	0.00	-8.55	1.45

Nota: El valor 0.00 corresponde al estado inicial de la naranja. Los valores negativos indican pérdida del diámetro ecuatorial tras la desecación respecto al estado fresco. Los valores positivos representan la recuperación porcentual del diámetro ecuatorial al cuarto día de hidratación. Los tratamientos evaluados: T1 (5 °C * 30 cm), T2 (5 °C * 60 cm) y T3 (5 °C * 90 cm).

Tabla 8

Diferencia porcentual del diámetro ecuatorial de las naranjas durante la desecación y la hidratación a 15 °C al cuarto día

Tratamiento	Fresca (%)	Desecada (%)	Hidratada (%)
T4	0.00	-11.24	3.62
T5	0.00	-11.24	3.39
T6	0.00	-11.24	5.88

Nota: El valor 0.00 corresponde al estado inicial de la naranja. Los valores negativos indican pérdida del diámetro ecuatorial tras la desecación respecto al estado fresco. Los valores positivos representan la recuperación porcentual del diámetro ecuatorial al cuarto día de hidratación. Los tratamientos evaluados: T4 (15 °C * 30 cm), T5 (15 °C * 60 cm) y T6 (15 °C * 90 cm).

Anexo 19

Efecto de las combinaciones de temperatura y presión sobre el contenido de humedad de la cáscara de las naranjas durante la desecación y la hidratación al cuarto día

Tabla 9

Variación porcentual del contenido de humedad de la cáscara de las naranjas durante la desecación y la hidratación a 5 °C al cuarto día

Tratamiento	Fresca (%)	Desecada (%)	Hidratada (%)
T1	72.21	64.57	72.66
T2	72.21	64.57	86.98
T3	72.21	64.57	69.42

Nota: El valor 72.21 corresponde al estado inicial (fresco). El valor del estado desecado (64.57) indica la variación del contenido de humedad de la cáscara respecto al estado fresco. Los valores del estado hidratado corresponden a la medición de la humedad de la cáscara al cuarto día de hidratación. Los tratamientos evaluados: T1 (5 °C * 30 cm), T2 (5 °C * 60 cm) y T3 (5 °C * 90 cm).

Tabla 10

Variación porcentual del contenido de humedad de la cáscara de las naranjas durante la desecación y la hidratación a 15 °C al cuarto día

Tratamiento	Fresca (%)	Desecada (%)	Hidratada (%)
T4	75.27	62.03	72.93
T5	75.27	62.03	72.54
T6	75.27	62.03	71.12

Nota: El valor 75.27 corresponde al estado inicial (fresco). El valor del estado desecado (62.03) indica la variación del contenido de humedad de la cáscara respecto al estado fresco. Los valores del estado hidratado corresponden a la medición de la humedad de la cáscara al cuarto día de hidratación. Los tratamientos evaluados: T4 (15 °C * 30 cm), T5 (15 °C * 60 cm) y T6 (15 °C * 90 cm).

Anexo 20

Efecto de las combinaciones de temperatura y presión sobre el volumen relativo de jugo de las naranjas durante la desecación y la hidratación al cuarto día

Tabla 11

Variación porcentual del volumen relativo de jugo de las naranjas durante la desecación y la hidratación a 5 °C al cuarto día

Tratamiento	Fresca (%)	Desecada (%)	Hidratada (%)
T1	42.10	44.31	41.21
T2	42.10	44.31	35.60
T3	42.10	44.31	44.49

Nota: El valor 42.10 corresponde al estado inicial (fresco). El valor del estado desecado (44.31) indica la variación del volumen relativo de jugo respecto al estado fresco. Los valores del estado hidratado corresponden a la medición del volumen relativo de jugo al cuarto día de hidratación. Los tratamientos evaluados: T1 (5 °C * 30 cm), T2 (5 °C * 60cm) y T3 (5 °C * 90 cm).

Tabla 12

Variación porcentual del volumen relativo de jugo de las naranjas durante la desecación y la hidratación a 15 °C al cuarto día

Tratamiento	Fresca (%)	Desecada (%)	Hidratada (%)
T4	41.09	44.31	44.42
T5	41.09	44.31	44.52
T6	41.09	44.31	43.60

Nota: El valor 41.09 corresponde al estado inicial (fresco). El valor del estado desecado (44.31) indica la variación del volumen relativo de jugo respecto al estado fresco. Los valores del estado hidratado corresponden a la medición del volumen relativo de jugo al cuarto día de hidratación. Los tratamientos evaluados: T4 (15 °C * 30 cm), T5 (15 °C * 60 cm) y T6 (15 °C * 90 cm).

Anexo 21

Efecto de las combinaciones de temperatura y presión sobre el pH del zumo de las naranjas durante la desecación y la hidratación al cuarto día

Tabla 13

Variación del pH de las naranjas durante la desecación y la hidratación a 5 °C al cuarto día

Tratamiento	Fresca (%)	Desecada (%)	Hidratada (%)
T1	3.46	3.44	3.68
T2	3.46	3.44	3.71
T3	3.46	3.44	3.51

Nota: El valor 3.46 corresponde al estado inicial (fresco). El valor del estado desecado (3.44) indica la variación del parámetro químico del pH respecto al estado fresco. Los valores del estado hidratado corresponden a la medición del pH al cuarto día de hidratación. Los tratamientos evaluados: T1 (5 °C * 30 cm), T2 (5 °C * 60 cm) y T3 (5 °C * 90 cm).

Tabla 14

Variación del pH de las naranjas durante la desecación y la hidratación a 15 °C al cuarto día

Tratamiento	Fresca (%)	Desecada (%)	Hidratada (%)
T4	3.46	3.53	3.46
T5	3.46	3.53	3.36
T6	3.46	3.53	3.49

Nota: El valor 3.46 corresponde al estado inicial (fresco). El valor del estado desecado (3.53) indica la variación del parámetro químico del pH respecto al estado fresco. Los valores del estado hidratado corresponden a la medición del pH al cuarto día de hidratación. Los tratamientos evaluados: T4 (15 °C * 30 cm), T5 (15 °C * 60 cm) y T6 (15 °C * 90 cm).

Anexo 22

Efecto de las combinaciones de temperatura y presión sobre los °Brix del zumo de las naranjas durante la desecación y la hidratación al cuarto día

Tabla 15

Variación de los °Brix de las naranjas durante la desecación y la hidratación a 5 °C al cuarto día

Tratamiento	Fresca (%)	Desecada (%)	Hidratada (%)	Variación
T1	9.13	9.38	9.90	8.43 %
T2	9.13	9.38	8.50	-6.90 %
T3	9.13	9.38	10.20	11.72 %

Nota: El valor 9.13 corresponde al estado inicial (fresco). El valor del estado desecado (9.38) indica la variación del parámetro químico °Brix respecto al estado fresco. Los valores del estado hidratado corresponden a la medición de °Brix al cuarto día de hidratación. Los tratamientos evaluados: T1 (5 °C * 30 cm), T2 (5 °C * 60 cm) y T3 (5 °C * 90 cm).

Tabla 16

Variación de los °Brix de las naranjas durante la desecación y la hidratación a 15 °C al cuarto día

Tratamiento	Fresca (%)	Desecada (%)	Hidratada (%)	Variación
T4	9.68	10.78	10.10	4.34 %
T5	9.68	10.78	8.83	-8.78 %
T6	9.68	10.78	9.17	-5.27 %

Nota: El valor 9.68 corresponde al estado inicial (fresco). El valor del estado desecado (10.78) indica la variación del parámetro químico °Brix respecto al estado fresco. Los valores del estado hidratado corresponden a la medición de °Brix al cuarto día de hidratación. Los tratamientos evaluados: T4 (15 °C * 30 cm), T5 (15 °C * 60 cm) y T6 (15 °C * 90 cm).

Anexo 23

Efecto de las combinaciones de temperatura y presión sobre la acidez titulable del zumo de las naranjas durante la desecación y la hidratación al cuarto día

Tabla 17

Variación porcentual de la acidez titulable de las naranjas durante la desecación y la hidratación a 5 °C al cuarto día

Tratamiento	Fresca (%)	Desecada (%)	Hidratada (%)
T1	1.31	1.46	1.62
T2	1.31	1.46	1.46
T3	1.31	1.46	1.60

Nota: El valor 1.31 corresponde al estado inicial (fresco). El valor del estado desecado (1.46) indica la variación del parámetro químico de la acidez titulable respecto al estado fresco. Los valores del estado hidratado corresponden a la medición de la acidez titulable al cuarto día de hidratación. Los tratamientos evaluados: T1 (5 °C * 30 cm), T2 (5 °C * 60 cm) y T3 (5 °C * 90 cm).

Tabla 18

Variación porcentual de la acidez titulable de las naranjas durante la desecación y la hidratación a 15 °C al cuarto día

Tratamiento	Fresca (%)	Desecada (%)	Hidratada (%)
T4	1.67	1.53	1.44
T5	1.67	1.53	1.66
T6	1.67	1.53	1.53

Nota: El valor 1.67 corresponde al estado inicial (fresco). El valor del estado desecado (1.53) indica la variación del parámetro químico de la acidez titulable respecto al estado fresco. Los valores del estado hidratado corresponden a la medición de la acidez titulable al cuarto día de hidratación. Los tratamientos evaluados: T4 (15 °C * 30 cm), T5 (15 °C * 60cm) y T6 (15 °C * 90 cm).