

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACÉUTICAS



***EFFECTO DE LA DESHIDRATACIÓN DE LA PULPA DE CEREZA
POR VENTANA DE REFRACTANCIA Y COMPARACIÓN ENTRE
LA APLICACIÓN DE PRESIONES REDUCIDAS Y
PRETRATAMIENTO POR ULTRASONIDO***

**AFE a Tesis presentada a la Universidad de Chile para optar al grado de
Magíster en Ciencias de los Alimentos Y Memoria para optar al Título
de Ingeniero en Alimentos por:**

Rodrigo Andres Vallejos Maureira

Director/a de Tesis:

Luis Puente

Santiago-CHILE

Enero 2024

UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACÉUTICAS

INFORME DE APROBACIÓN DE AFE A TESIS DE MAGÍSTER.

Se informa a la Dirección de la Escuela de Postgrado de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas que la AFE a Tesis de Magíster y Memoria de Título presentada por el candidato

Rodrigo Vallejos

Ha sido aprobada por la Comisión de Evaluadora de AFE a Tesis como requisito para optar al grado de Magíster en Ciencias de los Alimentos área de especialización (si corresponde), en el examen público rendido el día

Director de Tesis:

Luis Puente

Comisión Evaluadora de Tesis:

Roberto Lemus

Jaime Ortiz

Loreto Muñoz

RESUMEN

“EFECTO DE LA APLICACIÓN DEL ULTRASONIDO Y PRESIONES REDUCIDAS EN EL SECADO DE PULPA DE CEREZA POR MÉTODO DE VENTANA DE REFRACTANCIA”

La ventana de refractancia (RW) es un método de deshidratación que utiliza la radiación del agua para deshidratar los alimentos ya sean en formatos pulpas o rodajas, generando alimentos deshidratados de una calidad similar a la deshidratación por liofilización. También se han desarrollado estudios en que aplicar un pretratamiento por ultrasonido que es al ser una técnica que genera cavitación dentro de los tejidos celulares facilitando tanto la extracción como la deshidratación de los alimentos en que se aplique. Y finalmente uno método asistido de presiones reducidas revelan que permitirían una menor degradación de los compuestos bioactivos y una mejor retención del color de los alimentos debido a una disminución del punto de ebullición bajo el punto de degradación de la mayoría de los compuestos orgánicos de los alimentos.

La cereza es un carozo del género “*prunus*”, es uno de los alimentos de temporada entre noviembre a febrero generalmente altamente demandada en el mercado nacional e internacional ya sea por sus aplicaciones en la industria alimenticia, repostería y farmacia.

Este estudio se realizó con la finalidad de analizar el comportamiento de secado de la pulpa de cereza de dimensiones de 5cm x 5cm y un espesor de 1 mm utilizando 3 métodos de secado: RW estándar, RW con pretratamiento de ultrasonido y RW asistido por presiones reducidas (0.02 Mpa) a temperaturas de 60°C, 70°C, 80°C, con el fin de determinar si la aplicación de estos métodos genera una mayor conservación del color y compuestos orgánicos tales como las antocianinas, fenoles, su capacidad antioxidante y color. Agregando si la aplicación de estos métodos generan un cambio significativo en la cinética de secado al compararlos con el RW estándar.

Para realizar RW asistido por ultrasonido se elaboró un prototipo funcional que aplique las condiciones de presión anteriormente descritas modificando una RW estacionaria junto a una placa de acrílico adaptadores, mangueras y bombas de vacío

Respecto a la cinética de secado se determinó que la aplicación de presiones reducidas al RW genere una disminución del tiempo de deshidratación de más de un 50% comparado al RW estándar a una temperatura de 60°C, bajando este porcentaje a medida que la temperatura aumenta.

Con respecto a la difusividad efectiva del RW asistido por presiones reducidas se determinó que no aumenta, sino mantiene sus valores ($7.2-8.1 \times 10^{-10} \text{ (m}^2\text{s}^{-1}\text{)}$) seguido de RW con pretratamiento de ultrasonido ($5.9-7.1 \times 10^{-10} \text{ (m}^2\text{s}^{-1}\text{)}$), a medida que la temperatura aumenta, esto se corrobora al observar su energía libre con un valor 5.7 (Kj/mol) al ser el valor más bajo de los 3 métodos de secado seguido de RW con pretratamiento por ultrasonido con un valor de 9.2 (Kj/mol) y RW estándar 57.2 ((Kj/mol).

Con respecto a los compuestos orgánicos se determinó que la aplicación del método por presiones reducidas a 60°C conserva significativamente las antocianinas y polifenoles, con respecto a la capacidad antioxidante no hay diferencias significativas. Y al definir la diferencia de color, el RW estándar a 60°C es el que menos cambios presenta con respecto a la muestra fresca.

Finalmente se determinó que el mejor modelo matemático que se ajusta mejor al comportamiento cinético de los métodos de secado es el modelo de Midilli-Kucuk seguido de Page y Midilli modificado respectivamente.

ABSTRACT

“EFFECT OF THE APPLICATION OF ULTRASOUND AND REDUCED PRESSURES ON THE DRYING OF CHERRY PULP BY THE REFRACTANCE WINDOW METHOD”

The refractance window (RW) is a dehydration method that uses water radiation to dehydrate foods, whether in pulp or slice formats, generating dehydrated foods of a quality similar to dehydration by freeze-drying. Studies have also been developed in which ultrasound pretreatment is applied, which is a technique that generates cavitation within cellular tissues, facilitating both the extraction and dehydration of the foods in which it is applied. And finally, one assisted method of reduced pressures reveals that it would allow less degradation of bioactive compounds and better retention of food color due to a decrease in the boiling point below the degradation point of most organic compounds in foods.

The cherry is a stone of the genus “prunus”, it is one of the foods of season between November to February, generally highly demanded in the national and international market, either for its applications in the food industry, confectionery and pharmacy.

This study was carried out with the purpose of analyzing the drying behavior of cherry pulp with dimensions of 5cm x 5cm and a thickness of 1 mm using 3 drying methods: standard RW, RW with ultrasound pretreatment and RW assisted by reduced pressures. (0.02 Mpa) at temperatures of 60°C, 70°C, 80°C, in order to determine if the application of these methods generates greater conservation of color and organic compounds such as anthocyanins, phenols, their antioxidant capacity and color. Adding whether the application of these methods generates a significant change in the drying kinetics when compared to the standard RW.

To perform ultrasound-assisted RW, a functional prototype was developed that applies the pressure conditions previously described by modifying a stationary RW together with an acrylic plate, adapters, hoses and vacuum pumps.

Regarding the drying kinetics, it was determined that the application of reduced pressures to the RW generates a decrease in dehydration time of more than 50% compared to the standard RW at a temperature of 60°C, lowering this percentage as the temperature increases. . With respect to the effective diffusivity of RW assisted by reduced pressures, it was determined that it does not increase, but rather maintains its values (7.2-8.1 X 10⁻¹⁰ (m²s⁻¹)) followed by RW with ultrasound pretreatment (5.9-7.1 10 (m²s⁻¹)), as the temperature increases, this is corroborated by observing its free energy with a value of 5.7 (Kj/mol) as it is the lowest value of the 3 drying methods followed by RW with pretreatment by ultrasound with a value of 9.2 (Kj/mol) and standard RW 57.2 ((Kj/mol).

With respect to organic compounds, it was determined that the application of the method by reduced pressures at 60°C significantly preserves anthocyanins and polyphenols, with respect to the antioxidant capacity there are no significant differences. And when defining the color difference, the standard RW at 60°C is the one that presents the least changes with respect to the fresh sample.

Finally, it was determined that the best mathematical model that best fits the kinetic behavior of the drying methods is the Midilli-Kucuk model followed by Page and modified Midilli respectively.

DEDICATORIA

A mi querida familia, tío Jonathan, abuelita margarita y tata Mauricio que me apoyaron en mi hogar, mi amada madre Bernarda que me dio fuerzas gracias por todo.

A mis amigos Matías, Sergio y Alonso por el apoyo psicológico.

A mí amada pelusa que descanses.

A los profesores que me apoyaron durante mis experimentos, gracias por su tiempo y dedicación.

Iä! Iä! Yog Sothoth, que eres la puerta y la llave de la misma, aquel que ve el pasado, el presente y el futuro que jamás pasara Iä! Iä!

INDICE

RESUMEN	I
ABSTRACT	II
DEDICATORIA	III
INTRODUCCION	1
SECADO POR VENTANA REFRACTANCIA	1
PELÍCULA DE MYLAR	4
TRANSFERENCIA ENERGÉTICA	5
PRESIONES REDUCIDAS	7
ULTRASONIDO	10
CEREZA	13
DEFECTOS EN LA CALIDAD	16
NUTRIENTES DESTACABLES DE LA CEREZA	20
ANTIOXIDANTES	21
CARACTERÍSTICAS DE LOS ANTIOXIDANTES.	21
FUENTES NATURALES DE LOS ANTIOXIDANTES	21
RADICALES LIBRES	21
ESTRÉS OXIDATIVO	22
BENEFICIOS DE LOS ANTIOXIDANTES	22
COMPUESTOS FENÓLICOS	23
DETERMINACIÓN DE LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE	24
HIPOTESIS	26
OBJETIVOS	26
MATERIALES Y METODOS	27
MATERIA PRIMA	27
INSTRUMENTAL	28
REACTIVOS	28
PROTOTIPO DE SECADOR DE VENTANA DE REFRACTANCIA (RW) ASISTIDO POR PRESIONES REDUCIDAS	29
SELECCIÓN DE TEMPERATURA, TIEMPO Y GROSOR	32
SECADO	34
COLOR	34

SOFTWARE	34
METODOLOGIA.....	35
PREPARACIÓN DE LA MUESTRA.....	35
EXPERIMENTOS DE SECADO	36
DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE DIFUSIVIDAD EFECTIVA	39
DETERMINACIÓN DE LA ENERGÍA DE LIBRE	39
DETERMINACIÓN DE LA CURVA DE SECADO.	40
MODELAMIENTO MATEMÁTICO DE LAS CURVAS DE SECADO.....	41
COLORIMETRÍA.....	42
ANÁLISIS QUÍMICOS.	43
RESULTADOS	48
ANÁLISIS DE GRÁFICOS.....	48
DIFUSIVIDADES EFECTIVAS	56
ENERGÍA LIBRE DE ARRHENIUS (E_A).....	58
COLOR.....	59
CAPACIDAD ANTIOXIDANTE (DPPH)	65
FENOLES TOTALES.....	66
ANTOCIANINAS	68
MODELAMIENTO MATEMÁTICOS.....	70
CONCLUSION	73
BIBLIOGRAFÍA	75
ANEXOS	83

INDICE DE FIGURAS Y GRAFICOS

FIGURA 1. DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE UN SISTEMA DE SECADO RW	2
FIGURA 2: MICRO IMÁGENES DEL TEJIDO DE PHYSALIS FRESCA (A), TEJIDO DESHIDRATADO DE PHYSALIS A 60°C, 75°C, 90°C RESPECTIVAMENTE.....	3
FIGURA 3. ESTRUCTURA QUÍMICA DE TEREFTALATO DE POLIETILENO (PET).....	4
FIGURA 4: ESQUEMA DE TRANSFERENCIA DE CALOR POR EL MÉTODO DE VENTANA REFRACTARIA.....	5
FIGURA 5: ESQUEMA QUE INDICA LA TRANSMISIÓN DE CALOR SIN PRODUCTO Y LA TRANSMISIÓN DE CALOR CON PRODUCTO	6
FIGURA 6: HORNO DE PRESIONES REDUCIDAS O VACÍO MODELO B- HORSECVAC1AC2.....	8
FIGURA 7: MICROFOTOGRAFÍAS DE TEJIDO DE PASTA DE TOMATE DESHIDRATADO POR CALENTAMIENTO ÓHMICO ASISTIDO POR PRESIONES REDUCIDAS Y POR SECADO CONVECTIVO	9
FIGURA 8: DIAGRAMA DE UN TRANSDUCTOR PIEZOELECTRICO.....	10
FIGURA 9: TÉCNICA DE ULTRASONIDO DIRECTO E INDIRECTO.....	11
FIGURA 10: EFECTO ULTRASONIDO EN LA MEMBRANA CELULAR.....	11
FIGURA 11: MICROFOTOGRAFÍA DE LOS TEJIDOS DE BERENJENA FRESCA, BERENJENA DESHIDRATADA POR SECADO CONVECTIVO, BERENJENA DESHIDRATADA POR SECADO CONVECTIVO ASISTIDO POR ULTRASONIDO A 18 KW/M ³ (C) Y 37 KW/M ³	12
FIGURA 12. ESQUEMA DE LA COMPOSICIÓN DE LA ESPECIE PRUNUS	13
FIGURA 13. ESPECIES DE LA CEREZA SANTANA, BING Y LAPINS	14
FIGURA 14: ILUSTRACIÓN DE RANGOS Y CALIBRE EXIGIDOS EN CADA CATEGORÍA DE CEREZAS	16
FIGURA 15: PITTING , Y MACHUCONES (B).....	17
FIGURA 16. FRUTA BLANDA ASOCIADA CON LA DEBILIDAD ADEMÁS DE OTROS DEFECTOS POST COSECHA COMO EL PITTING Y MACHUCÓN	18
FIGURA 17. PARTIDURAS EN LA CEREZA DURANTE EL TRANSPORTE HACIA SU DESTINO, EXPRESIÓN DE PUTREFACCIÓN EN ELLAS	18
FIGURA 18: PRESENCIA DE PUTREFACCIÓN OCURRIDAS POR PARTIDURAS DURANTE EN EL CRECIMIENTO DEL FRUTO (FINAL DE LA FASE II). SU EXPRESIÓN SE EXACERBA CON LA MADURES.....	19

FIGURA 22 CAMBIO DE COLORACIÓN DEL DPPH AL OXIDARSE	25
FIGURA 23: PRODUCTO CEREZA SIN CAROZO 500 G, MINUTO VERDE (LÍDER).....	27
FIGURA 24: MODIFICACIÓN DE UN MODELO DE RW ESTÁTICO AL RW ASISTIDO POR PRESIONES REDUCIDAS	29
FIGURA 26: ESQUEMA PROTOTIPO CON MEJORAS IMPLEMENTADAS	31
FIGURA 27: MUESTRA DE CEREZA FRACTURADAS POR UNA DESHIDRATACIÓN ACELERADA EN UN GROSOR MAYOR A 4MM.....	33
FIGURA 28: METODOLOGÍA GENERAL DEL DISEÑO DE EXPERIMENTO ...	35
FIGURA 29: ESQUEMA CUARTO FOTOGRÁFICO	42
FIGURA 30: FOTOGRAFÍA DE LAS MEDICIÓN DE LAS MUESTRAS DE CEREZA LUEGO DE LA REACCIÓN DE OXIDACIÓN CON DPPH.....	44
FIGURAS 31: REACCIÓN DE FOLIN-CIOCALTEU ANTES Y DESPUÉS DEL EXTRACTO DE CEREZA RESPECTIVAMENTE.....	45
FIGURA 36: REACCIÓN DE ANTOCIANINAS POR PH DIFERENCIAL DONDE SE OBSERVA EN EL TUBO DE LA IZQUIERDA LA REACCIÓN CON KCL Y A LA DERECHA LA REACCIÓN CON ACETATO DE SODIO	46
GRAFICO 1, GRAFICO COMPARATIVO DE LA HUMEDAD (MR) EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE LA PULPA DE CEREZA A UNA TEMPERATURA DE 60°C DE TRES TRATAMIENTOS CONTROL (ROJO), ULTRASONIDO (AZUL) Y PRESIONES REDUCIDAS O VACÍO PARA ABREVIAR (VERDE)	49
GRAFICO 2, GRAFICO COMPARATIVO DE LA HUMEDAD (MR) EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE LA PULPA DE CEREZA A UNA TEMPERATURA DE 70°C DE TRES TRATAMIENTOS CONTROL (ROJO), ULTRASONIDO (AZUL) Y PRESIONES REDUCIDAS O VACÍO PARA ABREVIAR (VERDE)	50
GRAFICO 3, GRAFICO COMPARATIVO DE LA HUMEDAD (MR) EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE LA PULPA DE CEREZA A UNA TEMPERATURA DE 80°C DE TRES TRATAMIENTOS CONTROL (ROJO), ULTRASONIDO (AZUL) Y PRESIONES REDUCIDAS O VACÍO PARA ABREVIAR (VERDE)	51
GRAFICO 4, GRAFICO COMPARATIVO DE LA HUMEDAD (RM) EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE LA PULPA DE CEREZA A DIFERENTES TEMPERATURAS: 60°C (NARANJO), 70°C (AZUL), 80°C (VERDE) MEDIANTE SECADO POR VENTANA DE REFRACTANCIA ESTÁNDAR ”	52
GRAFICO 5, GRAFICO COMPARATIVO DE LA HUMEDAD (MR) EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE LA PULPA DE CEREZA A DIFERENTES TEMPERATURAS: 60°C (NARANJO), 70°C (AZUL), 80°C (VERDE) MEDIANTE SECADO POR VENTANA DE REFRACTANCIA CON PRETRATAMIENTO DE ULTRASONIDO	53

GRAFICO 6, GRAFICO COMPARATIVO DE LA HUMEDAD (MR) EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE LA PULPA DE CEREZA A DIFERENTES TEMPERATURAS: 60°C (ROJO), 70°C (AZUL), 80°C (VERDE) MEDIANTE SECADO POR VENTANA DE REFRACTANCIA ASISTIDO POR PRESIONES REDUCIDAS 54

FIGURA 37: FOTOS COMPARATIVAS DE PULPA DE CEREZA FRESCA VERSUS PULPA DE CEREZA DESHIDRATADA POR RW A 60°C, 70 °C, 80°C” 64

INDICE DE TABLAS

TABLA 1: TABLA NUTRICIONAL CEREZAS (MCCUNE,ET AL, 2011).	20
TABLA 2: TABLA DEL ESPESOR DE LA PELÍCULA DE PULPA DE CEREZA EN MM Y LA RESPECTIVA MASA EN G PARA OBTENER DICHO ESPESOR”	32
TABLA 3: TABLA DE MODELOS MATEMÁTICOS	41
TABLA DE VALORES 4: DIFUSIVIDADES EFECTIVAS DE LOS MÉTODOS RW ESTÁNDAR RW ULTRASONIDO Y RW PRESIONES REDUCIDAS A DIFERENTES TEMPERATURAS	56
TABLA 5: TABLA DE ENERGÍA DE ACTIVACIÓN (KJ/MOL) DE LOS PROCESOS DE SECADO POR RW ESTÁNDAR, PRETRATAMIENTO CON US Y ASISTIDO CON PRESIONES REDUCIDAS.....	58
TABLA DE VALORES 6: VALORES “A” DE LAS FOTOGRAFÍAS DE PULPA DESHIDRATADA POR LOS RW ESTÁNDAR, RW ULTRASONIDO Y RW PRESIONES REDUCIDAS.....	60
TABLA DE VALORES 7: VALORES “A” DE LAS FOTOGRAFÍAS DE PULPA DESHIDRATADA POR LOS RW ESTÁNDAR, RW ULTRASONIDO Y RW PRESIONES REDUCIDAS.....	61
TABLA DE VALORES 8: VALORES “A” DE LAS FOTOGRAFÍAS DE PULPA DESHIDRATADA POR LOS RW ESTÁNDAR, RW ULTRASONIDO Y RW PRESIONES REDUCIDAS.....	62
TABLA DE VALORES 9: VALORES “A” DE LAS FOTOGRAFÍAS DE PULPA DESHIDRATADA POR LOS RW ESTÁNDAR, RW ULTRASONIDO Y RW PRESIONES REDUCIDAS.....	62
TABLA 10: TABLA COMPARATIVA DE LOS COLORES LAB TEÓRICOS DE LOS MÉTODOS RW ESTÁNDAR, RW ULTRASONIDO, RW PRESIONES REDUCIDAS A LAS TEMPERATURAS 60°C, 70°C, 80°C”	63
TABLA 11: TABLA DE VALORES DE LA CAP. ANTIOXIDANTES EXPRESADO EN MG AC. ASCÓRBICO/L DE LOS MÉTODOS RW ESTÁNDAR, RW ULTRASONIDO, RW PRESIONES REDUCIDAS A LAS TEMPERATURAS 60°C, 70°C, 80°C	65
TABLA 12: TABLA DE VALORES DE FENOLES TOTALES EN MG DE GAE/ G CEREZA DE LOS MÉTODOS RW ESTÁNDAR, RW ULTRASONIDO, RW ASISTIDO POR PRESIONES REDUCIDAS A LAS TEMPERATURAS 60°C, 70°C, 80°C.....	66
TABLA 13: TABLA DE VALORES DE FENOLES TOTALES EN MG DE GAE/ G CEREZA DE LOS MÉTODOS RW ESTÁNDAR, RW ULTRASONIDO, RW PRESIONES REDUCIDAS A LAS TEMPERATURAS 60°C, 70°C, 80°C.	68

TABLA DE VALORES 14 QUE REPRESENTA EL VALOR DE LAS CONSTANTES DE LOS MODELOS MATEMÁTICOS JUNTO CON LOS VALORES R², X², SUMA DE CUADRADOS DECIMALES SSE Y ERROR CUADRÁTICO MEDIO RMSE. 72

TABLA DE VALORES 15 DE LAS CONSTANTES RELACIONADAS AL MODELOS MIDILLI-KUCUK (A;B;K;Y)..... 72

INTRODUCCION

Secado Por Ventana Refractancia

El secado por ventana de refractancia “RW” se entiende como un proceso en donde se extiende una película, puré o solución de un alimento sobre una película de poliéster transparente a la radiación infrarroja conocido como Mylar (Nindo & Tang, 2007). Para realizar el proceso de secado se necesita calor que es aportado por el agua caliente que circula por un compartimiento constantemente, la ventaja de secado por ventana de refractancia es que se pueden utilizar temperaturas bajas y controlar el tiempo de contacto con el Mylar, estas ventajas permiten obtener alimentos deshidratados en formato de escamas, floculados o en polvo con buenas propiedades sensoriales y una disminución en las pérdidas de compuestos bioactivos (Abonyi et al., 2002).

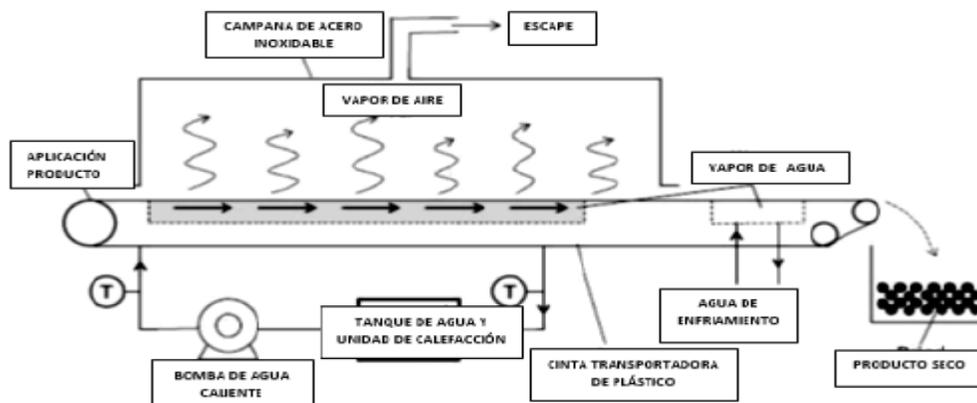
La técnica de ventana de refractancia también se caracteriza por una propiedad en donde la transferencia de calor por radiación disminuye si no hay un alimento para deshidratar, mientras que si esta en presencia de un alimento alto en contenido de humedad el calor transmitido por radiación aumenta permitiendo una deshidratación más rápida. (Ortiz-Jerez et al., 2015). Se puede utilizar la congelación y descongelación de los alimentos como métodos de pretratamientos para favorecer la transferencia de masa en el proceso de secado ya que estos métodos dañarían la microestructura del alimento facilitando el movimiento del agua a través de la membrana y pared celular (Ramírez, Troncoso, Muñoz y Aguilera 2011).

Algunos estudios han demostrado que el pretratamiento de congelación-descongelación en muestras de manzana permitió un aumento en la transferencia de masa debido al daño celular de la muestra en comparación con otros pretratamientos tales como la compresión con agua hirviendo que permite la formación espacios extracelulares, vías en la estructura interna de la manzana a través de canales intracelulares. Otra ventaja del uso del pretratamiento de congelación-descongelación es que permitiría una extensión en la conservación de algunas carnes como la res y el pescado (Cheng, et al., 2014). Según (Nindo & Tang, 2007) el equipo

de la ventana de refractancia requiere entre un 70% a 50% menos de costo de equipo y producción y un ahorro del 50% de energía al ser comparado con la técnica de liofilización.

Su estructura básica de la RW se compone de una piscina de agua conectada a un tanque junto a su unidad de calefacción que permite el calentamiento del agua a una temperatura definida, que es, asistida por dos termocuplas conectadas en la entrada y salida de la unidad de calefacción cuyo propósito es permitir al operador visualizar la temperatura del agua que recorre el sistema, el agua que recorre el sistema es impulsado por una bomba de agua siendo generalmente centrífuga. La piscina de agua está en contacto constante con una película de Mylar instalado en una cinta móvil conectado a un panel de control que permite controlar la velocidad de desplazamiento de la cinta a través de la piscina de agua (Figura 1).

La RW también incluye una campana o extractor de vapor para absorber y expulsar los vapores emitidos por la deshidratación de los alimentos, también se añade una segunda piscina de agua fría que tiene como propósito el detener el proceso de deshidratación del alimento mediante un shock térmico o una disminución brusca de la temperatura (Figura 1).



“Figura 1. Diagrama esquemático de un sistema de secado RWTM (Raghavi et al., 2018)”

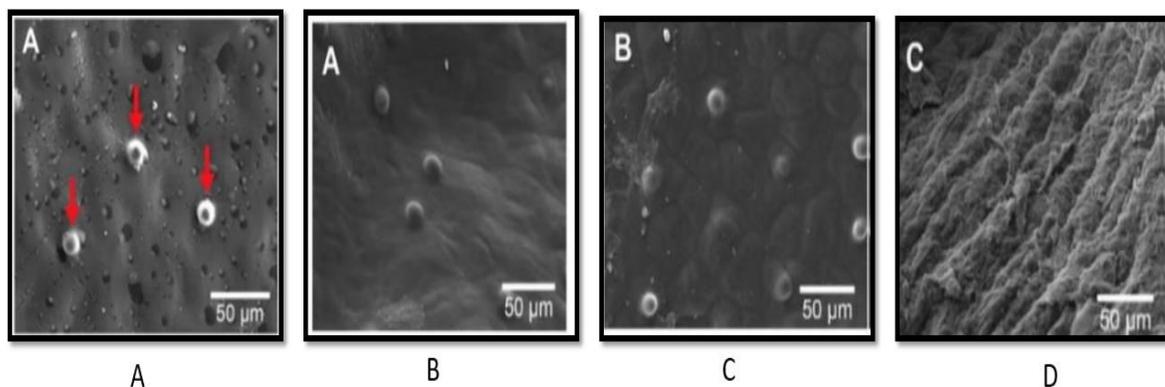
El secado por ventana de refractancia es utilizado actualmente con el fin de conservar la calidad de ciertos alimentos como frutas o pulpa de cereza de cornalina (Tontul, et al, 2018), kiwis (Jafari, et al, 2016), pulpas de mango (Caparino et al., 2012), rodajas de mango (Ochoa-Martínez et al., 2012), jugo de granada (Baeghbali, et al, 2016) o jugo de açaí (Pavan, et al, 2012). La técnica de secado por ventana de refractancia ha demostrado ser eficiente respecto

al uso de la energía para deshidratar, obteniendo una alta tasa de evaporación ($10 \text{ kg} / \text{m}^2 \cdot \text{h}$) y también en la conservación de la calidad del alimento (Tontul et al., 2018).

Un estudio de deshidratación de espárragos con ventana de refractancia demostró que el polvo obtenido presentaba un color más atractivo al compararlo con otros métodos de secado convencionales (Nindo, et al, 2003). Otro estudio que escogieron muestra de pimentón demostraron que la calidad del alimento deshidratado por la ventana de refractancia era similar a la del método de secado por liofilización siendo mejor que las técnicas de secado por convección de aire caliente (Topuz, Feng y Kushad, 2009).

Otro estudio que se enfocaba en la obtención del polvo de mango por ventana de refractancia posee una solubilidad e higroscopicidad es similar a los obtenidos por procesos de liofilización siendo superior a los obtenidos por secado por aspersión o secado por tambor (Caparino et al., 2012).

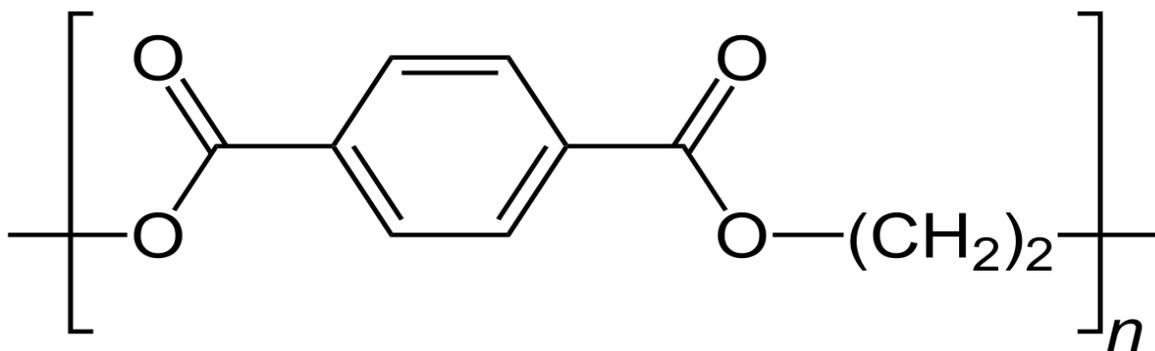
Por último, se han hecho análisis a los tejidos de la fruta *Physalis* que mediante el uso de un escáner microscópico, revelando que los tejidos de *Physalis* deshidratada por RW estándar no sufren daños significativos a bajas temperaturas, mientras que a altas temperaturas se pueden observar un aumento en la rugosidad del tejido figura 2 (Puente-Díaz, et al., 2020).



“Figura 2: Micro imágenes del tejido de *Physalis* fresca (A), tejido deshidratado de *Physalis* a 60°C (B), 75°C (C), 90°C (D) respectivamente, (Puente-Díaz, et al., 2020)”

Película de Mylar

El Mylar es un tipo de poliéster que se obtiene a través de la unión de ácido tereftálico y el etilenglicol obteniendo “**Tereftalato de polietileno (PET)**” (Figura 3), es un material que es utilizado tanto en envases de productos alimenticios u aislantes por su propiedad de ser una barrera para el agua y CO₂ (Dupont). Pero su uso en el secado por ventana de refractancia se debe a que su característica de transferir la radiación infrarroja emitida desde el agua hacia la pulpa de fruta (Diego Gamboa).



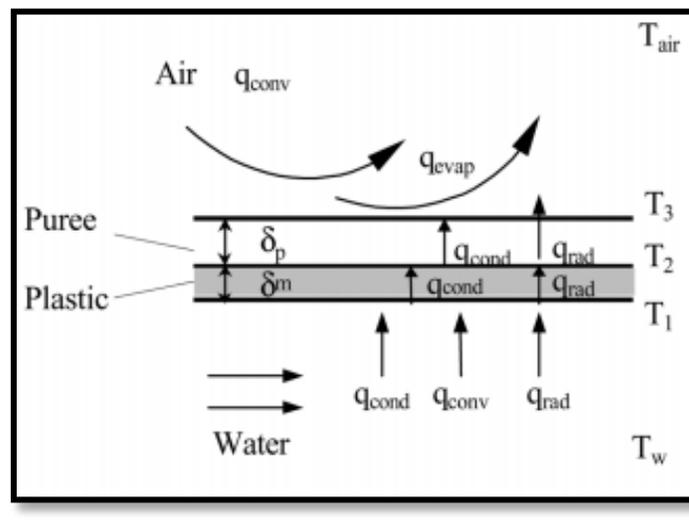
“Figura 3. Estructura Química de Tereftalato de polietileno (PET)”

Transferencia energética

Durante el proceso de secado interactúan diferentes transferencias energéticas, las cuales son, conducción (q_{Cond}), convección (q_{Conv}) y la radiación (q_{rad}). La conducción se transfiere por el contacto del agua caliente hacia la película de Mylar y esta consecuentemente a la pulpa de fruta, la convección se transferiría por el aire caliente generado por la temperatura del agua y la radiación generada por la radiación de microondas, una de las ventajas de este secado se debe a que la pulpa de fruta alcanza la temperatura del agua caliente en un breve lapso de tiempo (Nindo, 2007).

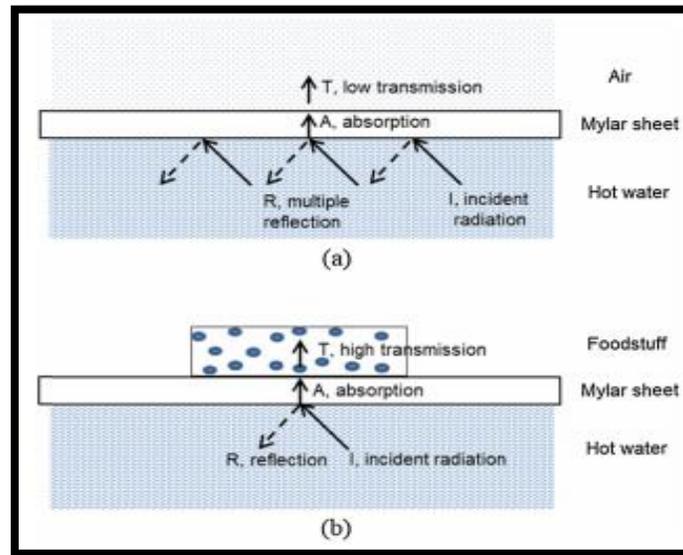
Rendimiento de secado de la ventana de refractancia

El método de secado utiliza de forma conjunta los tres tipos de transferencia térmica (Figura 4), logrando aumentar la transferencia térmica si la película de poliéster y de pulpa de fruta fuera delgadas, ya que estaría relacionado a la resistencia a la transferencia térmica. Otro medio que permite una transferencia más rápida sería que el producto a deshidratar contenga una alta cantidad de agua, esto es debido a que la refracción en la interfaz de producto-película disminuiría hasta el punto que no existiría pérdida de energía térmica por radiación (Ratti, et al,1995) ,(Nindo y Tang, 2007).



“Figura 4: Esquema de transferencia de calor por el método de ventana refractaria (Fuente: Nindo, 2007)”

Durante el proceso de secado, inicialmente la transferencia por radiación sería la predominante debido a que el agua aumenta la absorptividad de la radiación infrarroja entre los 3; 4.7; 5.3 mm, pero a medida que el producto va deshidratándose su absorptividad a la radiación infrarroja disminuye y la transferencia térmica por convección predominaría en la transferencia de masa (Figura 5) por lo que se recomendaría que se trabaje a temperaturas suaves (Nindo y Tang, 2007. Sandu, 1986).



“Figura 5: Esquema que indica la Transmisión de calor sin producto (a) y la transmisión de calor con producto (b) (Fuente: Ortiz-Jerez, 2014)”

Presiones Reducidas

Se define como presiones reducidas o “vacío” a un espacio lleno de gas que ejerce una presión menor a la presión atmosférica o una atm a nivel del mar (Monteiro, et al., 2020). Este “vacío” se divide en diferentes categorías dependiendo de la presión que se ejerza en el sistema:

1. Bajo vacío: de 300-1 mbar
2. Medio vacío: $1 - 1 \times 10^{-3}$ mbar
3. Alto vacío: $1 \times 10^{-3} - 1 \times 10^{-7}$ mbar
4. Ultra vacío: $1 \times 10^{-7} - 1 \times 10^{-12}$ mbar

La implementación de las presiones reducidas en los métodos de deshidratación genera que el método aplicado sea más apacible con los alimentos, esto se debe a que al trabajar el secado a menores temperaturas debido a que el la disminución de la presión provocaría un descenso de la temperatura de ebullición del agua en el alimento, permitiendo una mejor manipulación de alimentos termo sensibles permitiendo también un aumento de la velocidad de secado en el proceso además de obtener un producto de una mayor calidad sensorial y nutricional (Monteiro, et al., 2020).

La aplicación de presiones reducidas es a través de sistemas cerrados con la finalidad de que la presión externa no entre, siendo utilizados hornos modificados para soportar bajas presiones, estos cajones cuentan con resistencias que calientan el horno a la temperatura deseada por un panel de control. También se incluye entre una a dos perforaciones con conexiones para anexar mangueras en unión con una bomba de vacío para disminuir la presión, siendo esta presión medida por la ayuda de un vacuometro dentro del horno (Figura 6).

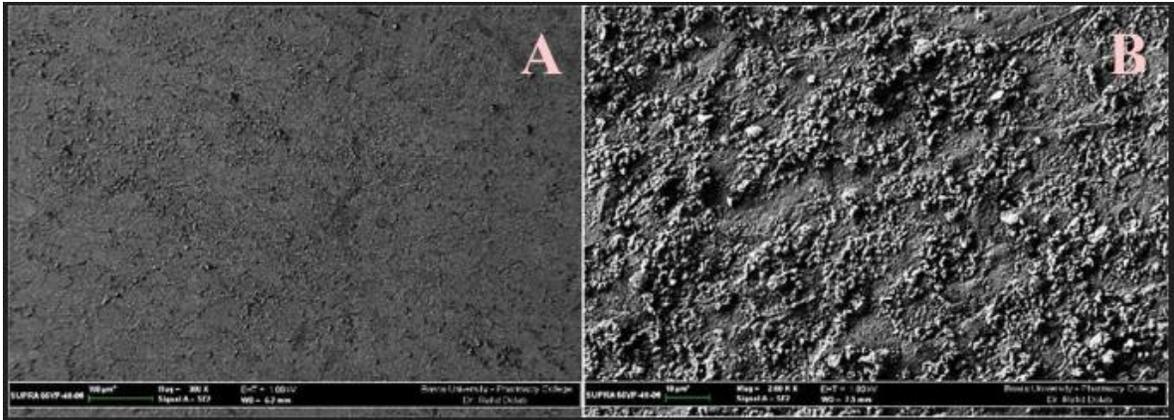


“Figura 6: horno de presiones reducidas o vacío modelo B-HorSecVac1Ac2”

Otro estudio revela que la implementación de presiones reducidas en alimentos como champiñones, fresas, papas y hojas de té tendría un efecto positivo en su estructura en comparación con el mismo alimento sin aplicar presiones reducidas. (Luis González-Cavieres, Mario Pérez-Won, 2021).

La aplicación de presiones reducidas en los sistemas es usualmente mediante bombas de presiones reducidas que tienen el objetivo de extraer las moléculas de gas en un ambiente sellado para generar presiones reducidas. Se han realizado experimentos en diversos tipos de alimentos como bananas, caquis, zanahoria entre otros (Thayla B, et al, 2021) Demostrando que la aplicación de presiones reducidas permitiría un beneficio a la técnica de secado por ventana de refractancia.

Un último estudio que analizo los tejidos de pasta de tomate secado por calentamiento ohmico asistido por presiones reducidas revelaron que su aplicación mantiene integra la estructura de la pasta de tomate evitando que se formen costras (figura 7) debido a un daño térmico hacia las células (Alkanan, et al., 2021)

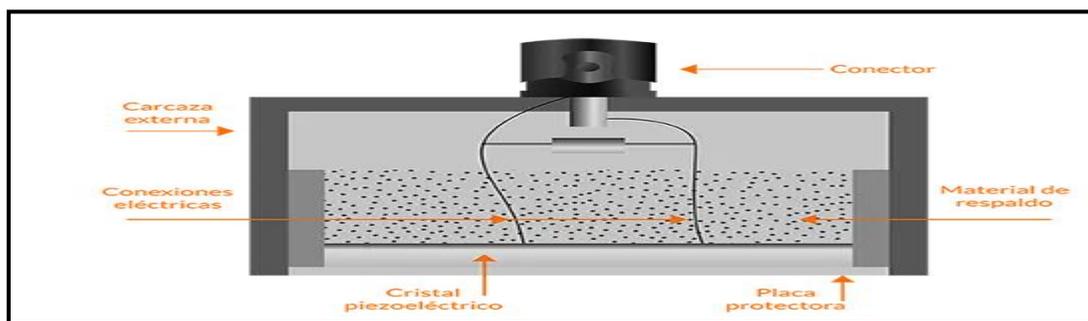


“Figura 7: Microfotografías de tejido de pasta de tomate deshidratado por calentamiento óhmico asistido por presiones reducidas (A) y por secado convectivo (B) (Alkanan, et al., 2021)”

Ultrasonido

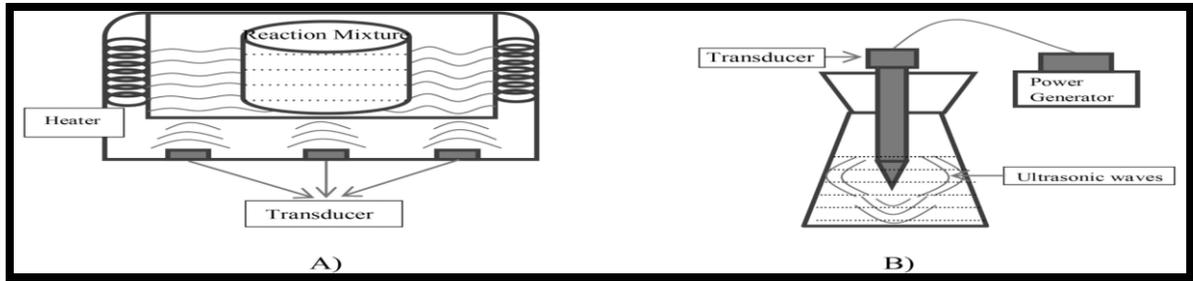
La técnica de ultrasonido en la industria alimenticia se basaría en la irradiación de ondas ultrasónicas que pueden variar entre los 20 kHz a 100 MHz, siendo un rango no destructivo en alimentos ideal para su análisis entre los 20 a 100 kHz (Mohit Singla, et al, 2021) aunque algunos estudios realizados que superan esta frecuencia con la finalidad de estudiar compuestos químicos (Shaofeng, et al, 2021).

El método se basa en la utilización de un transductor que mediante la transformación de la energía eléctrica a mecánica en forma de ondas que pueden regular su intensidad debido a la acción del cristal piezoeléctrico (Figura 8), estos transductores se dividen en varios formatos según su función tales como de inmersión, línea de retardo entre otros.

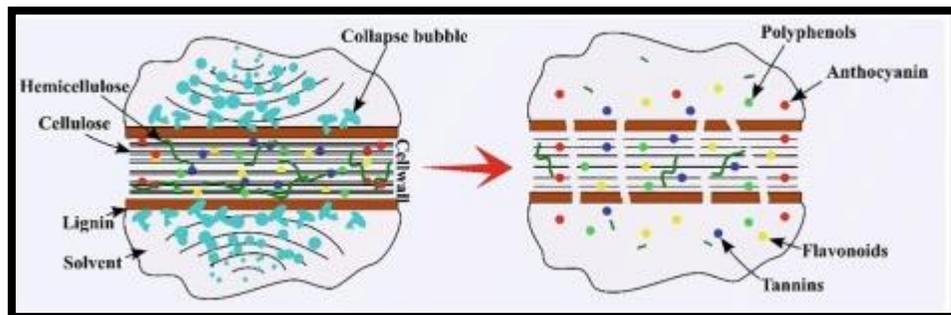


“Figura 8: diagrama de un transductor piezoeléctrico, zion NTD”

Las ondas ultrasónicas ya sea en contacto directo con el alimento o de forma indirecta (figura 9) vibraciones en las células del alimento que provocan una expansión o contracción en las membranas o paredes celulares debido a la cavitación del agua dentro de la célula generando diferentes efectos según la intensidad y periodo de exposición, que van desde la creación de nuevos capilares o micro canales entre el exterior e interior de la célula, hasta la eliminación de la membrana o pared celular (figura 10) para la extracción de los biocompuestos que esta contiene a altas intensidades (Mohit Singla, et al, 2021).



“Figura 9: Técnica de ultrasonido Directo (A) e indirecto (B), (Ulloa, 2013)”



“Figura 10: Efecto ultrasonido en la membrana celular (Ulloa, 2013)”

La aplicación de ultrasonido ya sea como pretratamiento o sistema híbrido en diversos procesos como la congelación, secado, descongelación, emulsificación, rehidratación, extracción entre otros procesos ha demostrado ser beneficioso, atribuyendo en la disminución de tiempo del proceso (Mohit Singla, et al, 2021), mejor calidad relacionada con las propiedades organolépticas de alimentos entre los que se encontraría el sabor y la textura, mejores rendimientos ya sea para la deshidratación, hidratación y extracción en los biocompuestos, agregando que su aplicación tendría un costo menor, siendo una técnica de bajo costo y de alto beneficio (Mohit Singla, et al, 2021).

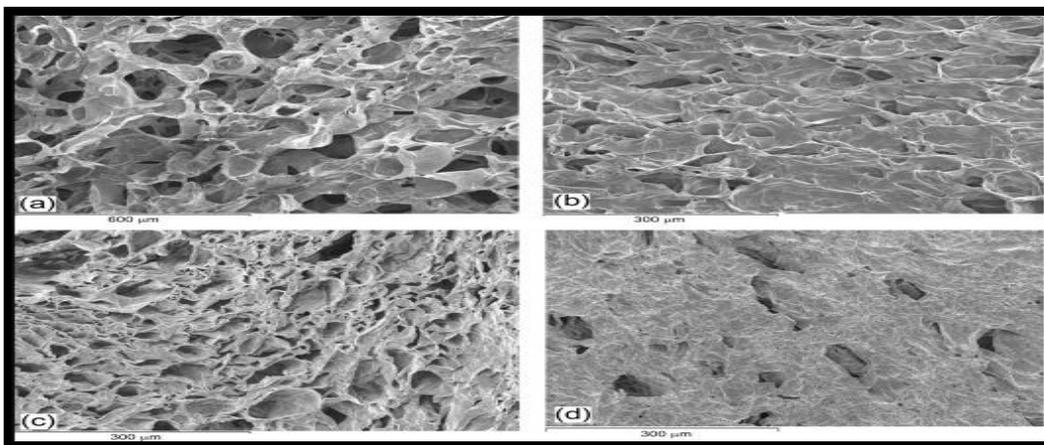
Con respecto a la aplicación de esta técnica en la industria alimenticia, se han realizado diversos estudios demostrando que existe una aceleración en el secado de alimentos como carnes, pescado frutas y verduras debido a un efecto que permite una más eficiente transferencia de agua desde el interior de la célula hasta el exterior de esta a través de micro canales formado por el efecto de la “cavitación” perteneciente al agua del medio interior intracelular (Figura 10), por lo que se la aplicación de esta técnica como un método asistido

de secado mejoraría la tasa de secado con respecto al método tradicional (Mohit Singla, et al, 2021).

Algunos estudios relacionadas con el secado de la berenjena usando el ultrasonido como pretratamiento permitió una reducción significativa en el tiempo de secado además de una mejor conservación de la microestructura del alimento (R. Osaie , et al, 2019), otro estudio realizado en uvas y ciruelas demostró que su uso permitió un aumento en la transferencia de masa, una disminución de la energía usada en el proceso y un secado más eficaz por lo que indica el estudio estaría relacionado con el aumento de la difusividad de la humedad (EAA Elhussein , et al,2018).

Otro estudio de secado con ultrasonido determino que el pretratamiento podría generar en los alimentos una menor absorción del agua, menor pérdida de biocompuestos tales como fenoles totales, flavonoides, vitaminas entre otros, al igual que un producto de mejor color (VM Karizaki , et al, 2013).

Un último estudio que analizo el efecto de la aplicación de ultrasonido a diferentes frecuencias en un secado convencional de berenjenas, al observar las microfotografías de los tejidos concluyo que la una aplicación suave del ultrasonido permite una mayor integridad de la estructura del alimento, y todo lo opuesto cuando se ocupan frecuencias más fuertes como se muestra en la figura 11 (García-Pérez, et al., 2023).

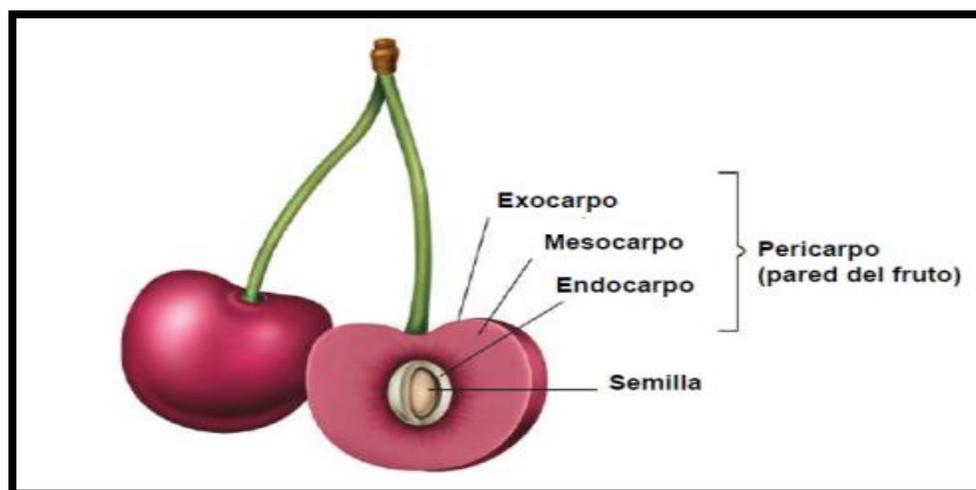


“Figura 11: Microfotografía de los tejidos de berenjena fresca (a), berenjena deshidratada por secado convectivo (b), berenjena deshidratada por secado convectivo asistido por ultrasonido aéreo a 18 Kw/m^3 (c) y 37 Kw/m^3 , (García-Pérez, et al., 2023)”

Cereza

Características del fruto

La cereza pertenece al género “*Prunus*” es un fruto que crece de los árboles del mismo género también conocido como cerezo, se caracterizan por ser drupas formadas por ser carnosas teniendo una semilla en su interior, la piel o exocarpo esta adherido al mesocarpo que sería la pulpa de la fruta, siendo parte de la pared del fruto que abarca el exocarpo y mesocarpo, mientras que el endocarpo es una estructura que protege la semilla de la fruta (figura 12), el color característico de la fruta es de un color rojo debido a la presencia de antocianinas, siendo la tonalidad del color una de las principales indicadores de maduración de la drupa (Gao y Mazza, 1995).



“Figura 12. Esquema de la composición de la especie *Prunus*”

La cereza madura tiene un color rojo característico, firmeza y un sabor bastante armonioso entre el dulzor y la acidez, también se destaca por tener una mayor presencia de fructosa y glucosa al igual que el ácido málico como el ácido orgánico más abundante en la drupa (Ferretti et al., 2010).

Mercado

Chile es un productor y exportador de la cereza siendo el sexto lugar con un 4.6% de la producción mundial, siendo el primer y segundo lugar Turquía y Estados Unidos con un valor del 20,7% y 16.4% de la producción mundial teniendo una demanda cada vez en crecimiento

(ODEPA, 2015), uno de los principales compradores de cerezas de Chile ha sido China, consumiendo un 84.7% de las 185.200 toneladas de cerezas, seguido de Estados Unidos el segundo comprador con un 4.1% del total de la fruta (ODEPA,2019) (FAOSTAT, 2019).

Las principales regiones productoras de la cereza se encuentran en la región del Maule, O'Higgins y Bío Bío con un catastro de 17.650, 1.700 y 2.140 hectáreas respectivamente, siendo la región del Maule la mayor productora en todo el país. Según estudios se ha demostrado que por el aumento de la demanda, las plantaciones de cerezas se están expandiendo cada vez a las regiones del sur (ODEPA-CIREN, 2019) (FAOSTAT, 2019). Las principales variedades de cerezas plantadas en la región del Maule se destaca a "Bing" como la más popular, seguida de "Lapins" representando la suma de ambas alrededor del 93% de las plantaciones de cerezas, en la región de O'Higgins las variedades más representativas es "Lapins" y "Santina" (figura 13) (ODEPA, 2017) (MAGRAMA, 2019).



“Figura 13. Especies de la Cereza Santana, Bing y Lapins”

Color

El color es un importante indicador de la calidad y madurez en la cereza, siendo un producto de gran calidad que tenga un color intenso y homogéneo siendo los frutos más seleccionados por los consumidores (Chiang et al, 2018). Este color se debe a que la piel aumenta contenido de antocianinas a medida que la madurez aumenta (Flores, 2017).

Este atributo generalmente se mide a través de tablas comparativas del color de la epidermis de una cereza madura, se debe tener en consideración que el color de la epidermis varía según la especie de cereza que va desde un rojo intenso a un color morado oscuro (Candan, et al., 2017).

Solidos solubles totales (SST)

Este es otro indicador de la madurez de la fruta, ya que la cereza no es capaz de aumentar sus SST después de su cosecha, su medición es simple siendo realizada por un refractómetro, pero, si llega a deshidratarse puede generar falsas lecturas e influir en los resultados de calidad (COPEFRUT).

El valor de los SST varía según el tipo de cereza y también según los requisitos de consumidor, por lo que se han registrados ciertos requisitos de exportación hacia China que exige valores entre los 16°Brix a 18 °Brix para la Santana, para el Lapins 17°Brix a 20 °Brix y Regina 19°Brix a 21 °Brix valores entre (Figura 11) (INTA, 2013). Según estudios se demuestra que los consumidores tienen una tendencia a comprar estos frutos mientras más dulces sean o mientras más °Brix tengan (Arribillaga, 2013).

Acidez

Este atributo aumenta durante la maduración del fruto, para después disminuir después de su cosecha siendo un indicador de la calidad, por lo que un fruto con una baja acidez se le podría relacionar un mayor tiempo de conservación pos cosecha (Correia, et al., 2018).. La acidez en la degustación es importante en el fruto ya que un buen equilibrio entre dulzor y acidez genera un fruto de alta calidad además de que un alto contenido de acidez permite una disminución de putrefacción de la fruta (Candan, 2017)

Índice de madures

La cereza al ser un fruto no climatérico o que su proceso de maduración solo se realiza antes de ser cosechado, por lo que después de su cosecha su color, aroma y sabor no presentaran cambios. Debido a esta característica de la fruta debe ser cosechada en su punto de maduración más óptimo (Candan, 2006), que se caracteriza en un periodo donde la cereza aumenta rápidamente su tamaño, peso, color y textura en un lapso aproximado de una semana a tal punto que se ha registrado un aumento del 25% en el peso (Arribillaga, 2013).

Firmeza

Se le considera uno de los principales atributos a tener en cuenta al ser seleccionados, ya que el mercado busca que el fruto sea firme y de pulpa jugosa, por lo que si el fruto no cumple estos estándares es un indicativo de que ha sufrido daños ya sea por golpes mecánicos, pardeamiento entre otros factores (Arribillaga, 2013). También según estudios la firmeza disminuye desde el envero o cambio de color siendo más notorio durante la conservación ya que durante este proceso el fruto pierde sus atributos (Ciro, et al., 2006). Esta pérdida de atributos durante la conservación se debe a la acción de enzimas como la poligalacturonasa, pectinmetilesterasa, celulasa y β -galactosidasa que produce que el fruto se ablande. Por lo que una buena conservación de la fruta durante su almacenamiento hara que la fruta sea menos sensibles a daños mecánicos o a la putrefacción (Horvitz, et al, 2004)

Tamaño: Peso y Calibre

Uno de los principales requisitos que busca el consumidor es el tamaño de la cereza ya que según estudios da la percepción de una mayor calidad en el consumidor (Arribillaga, 2013), siendo los más populares las cerezas de gran tamaño, por lo que se realizó una escala de tamaños de la cereza catalogándolos en 6 categorías desde la M hasta SG (figura 14), para poder determinar su calidad, mediante la medición del diámetro de la cereza (COPEFRUT).

Diámetro (mm)	Categoría	Nomenclatura
<22	Mediano	M
22-24	Large	L
24-26	Extra large	XL
26-28	Jumbo	J
28-30	Super Jumbo o Giant	SJ-G
>30	Super Giant	SG

“Figura 14: Ilustración de rangos y calibre exigidos en cada Categoría de Cerezas (COPEFRUT)”

Defectos en la calidad

Desde el momento en que se cosecha la fruta, se tiene como objetivo que esta no pierda su calidad hasta el momento en que sea entregado al consumidor, siendo la manipulación, almacenamiento y transporte de las cerezas un obstáculo para cumplir dicho objetivo, ya que

una acción incorrecta podría producir la pérdida parcial o total en la calidad del producto, y por lo tanto en la ganancia y confiabilidad del consumidor (Ciro, et al., 2006) (COPEFRUT).

Por lo que se debe aprender cuales son los defectos que pueden afectar en la calidad de la cereza junto con su origen.

Pitting y Machucones

Se consideran daños mecánicos en la epidermis de la cereza o debajo de ella (figura 15), este daño provoca una deshidratación de la zona produciendo un machucón a largo plazo, es bastante común que ocurra por una mala manipulación durante el momento de la cosecha, y aparecen durante el almacenamiento y transporte de la cereza, donde estadísticamente al momento de la recepción de la fruta representa el 5% y al llegar a los mercado un 10% de la fruta transportada (COPEFRUT) (Arribillaga, 2013).



“Figura 15: Pitting (A), y Machucones (B) (COPEFRUT)”

Falta de firmeza y Textura

Este defecto se asocia a una cereza con bajo contenido de materia seca, bajos en carbohidratos, potasio, calcio, magnesio y solidos solubles (figura 16). También se le asocia a su periodo de crecimiento donde es común en las plantaciones en condiciones de alta humedad y bajo competencia de brotes activos (Ciro, et al., 2006) (COPEFRUT).



“Figura 16. Fruta Blanda asociada con la debilidad además de otros defectos post cosecha como el pitting y machucón (COPEFRUT)”

Partiduras

Se le asocian a las cerezas de gran tamaño (Super Jumbo) procedentes de zonas frías y lluviosas, además de sobredosis de ácido giberelico (sobre los 30 ppm) con la finalidad de mejorar la firmeza y la calidad de la fruta. Otro factor que influiría en la aparición de las partiduras sería tiempos extensos bajo el agua o lluvias durante la temporada de la pre cosecha (figura 17) (Arribillaga, 2013) (Ciro, et al., 2006) (COPEFRUT).



“Figura 17. Partiduras en la cereza durante el transporte hacia su destino, expresión de putrefacción en ellas (cuadro de la derecha) (COPEFRUT)”

Presencia de putrefacción

La presencia de la putrefacción en la fruta arruinaría la totalidad de la calidad de la cereza afectando enormemente el precio de venta (figura 18), produciendo pérdidas en el lote de fruta, la putrefacción se le asocia fuertemente a la presencia de partiduras y micro-fisuras en el epicarpio de la cereza, agregando otro factor que sería la madurez avanzada de la fruta o contaminación durante el periodo de cultivo y maduración (Ciro, et al., 2006) (Arribillaga, 2013) (COPEFRUT).



“Figura 18: Presencia de putrefacción ocurridas por partiduras durante en el crecimiento del fruto (final de la fase II). Su expresión se exagera con la madures (derecha) (COPEFRUT)”

Nutrientes destacables de la Cereza

Los principales nutrientes que se pueden destacar del fruto son los antioxidantes como antocianinas y polifenoles (tabla 1), estos compuestos bioactivos se distribuyen en el mesocarpio y exocarpio, siendo el exocarpio el más abundante en estos antioxidantes ya que poseen funciones foto protectoras (Tomás-Barberan, et al., 2001) Aunque existen excepciones que poseen diferentes variedades de color rojo como el “*Rainier*” cuya concentración de biocompuestos están más concentrado en el exocarpio de la drupa y en concentraciones más pequeñas.

Los fenoles presentes en cerezas incluyen antocianinas, destacando cyanidin-3-rutinosido y cyanidin-3-gluocosido; flavan-3-ols tales como catequina, epicatequina y procianidinas poliméricas; flavonoles como kaempferol-3-rutinosido, quercetina-3-rutinoside y quercetina-3- glucosido (Blando y Oomah, 2019). La acción de estos compuestos al ser ingeridos en la dieta de las personas, puede generar un beneficios a la salud del consumidor, tales como disminución en la probabilidad de tener accidentes cardiovasculares, cáncer, u otras enfermedades degenerativas (Ames, et al., 1993)

Nutrientes y Biocompuestos	Cerezas
Energía (Kcal)	63
Fibra (g)	2,1
Azucares Totales(g)	12,8
Sucralosa (g)	0,15
Glucosa (g)	6,6
Fructosa (g)	5,3
Vitamina A (IU)	64
Vitamina C (mg)	7
Vitamina E (µg)	70
Potasio (mg)	222
β- Caroteno (µg)	38
Antocianinas (mg)	171,4
Flavonoides (mg)	2,64
Flavanoles (mg)	15,07
Ácidos Hidroxicinamicos (mg)	87,8
Fenoles (mg GAE)	174,9

“Tabla 1: tabla nutricional cerezas (McCune, et al, 2011)”.

Antioxidantes

Se denomina antioxidante a toda molécula que tenga la capacidad de retardar una reacción de oxidación, mediante la entrega de uno o más electrones con el fin de estabilizar algún compuesto biológico desapareado por el ataque de radicales libres (Kobus-Cisowska, et al, 2014).

Características de los antioxidantes.

Los antioxidantes tienen la capacidad de oxidarse rápidamente, previniendo la propagación de un reacción oxidativa, estabilizando el radical libre generado reduciendo el daño oxidativo en el cuerpo humano. En un ambiente aerobio, es común que los organismos usen sistemas antioxidante como un mecanismo de defensa a nivel bioquímico y fisiológico; debido a que a nivel fisiológico mantiene los niveles de oxígeno en los tejidos es el sistema micro vascular, mientras que a nivel bioquímico la defensa puede variar entre enzimática o no enzimática (Aldana Pérez & Guayasamín Pérez, 2014).

Fuentes naturales de los antioxidantes

La principal fuente de antioxidantes se encuentra en la naturaleza siendo las frutas y verduras la que más contienen polifenoles además de poseer características biológicas entre las que se destacan la captación de radicales libres. Los polifenoles encontrados naturalmente superan el un millón el cual se han observado que están combinados con ácidos orgánicos, azúcar o formando polímeros, provocando que la interacción de sus enlaces formen una amplia variedad de compuestos fenólicos, pero, su bioactividad se atribuye al fragmento aglicona del compuesto, no de la azúcar (Aldana Pérez & Guayasamín Pérez, 2014).

Radicales libres

Se definen como uno o un grupo de átomos el cual contiene un electrón desapareado o libre, lo que le atribuye una alta reactividad captando electrones de moléculas estables con el

propósito de volver a tener una estabilidad electroquímica, esta reacción provoca que el radical libre viaje de un compuesto a otro reaccionando con cualquier compuesto a su alcance. (Vintimilla, 2013).

Estrés oxidativo

Según Sánchez & Méndez (2013), las formas reducidas del O_2 se denominan especies reactivas de oxígeno –ROS-; en las que se incluyen radicales libres y peróxido de hidrógeno - H_2O_2 -. Los efectos benéficos de las ROS se presentan a bajas concentraciones, participando en diferentes funciones fisiológicas de la célula; como defensa contra agentes infecciosos y sistemas de señalización celular –mitosis.

Se debe destacar el equilibrio entre los pros y contras de los radicales libres, es un aspecto muy importante para los organismos vivos, lo cual se logra mediante mecanismos de “regulación REDOX” que protegen a los organismos vivos del estrés oxidativo, manteniendo el control del estado de oxidación a través de los sistemas antioxidantes y captadores de radicales libres (Sánchez & Méndez, 2013). Independiente de su fuente, estos compuestos son un potencial peligro para los organismos ya que son capaces de reacciones con proteínas, lípidos, y ácidos nucleicos, agregando estudios que demuestran que pueden generar la muerte celular; el organismo en defensa propia utiliza los antioxidantes para debilitar la reacción de oxidación ya que en caso que no sea detenida, el organismo o puede pasar a una fase de estrés oxidativo (Aldana Pérez & Guayasamín Pérez, 2014).

Beneficios de los antioxidantes

Estos compuestos se destacan por generar beneficiosos en actividades fisiológicas como: antimutagenica, antibacteriana, actividad antiviral, anticarcinogenica, antialérgica, antiulcera, antifungica, anticariógena, e inhibidora del incremento de la presión arterial; todos estos beneficios derivan de su capacidad de detener o ralentizar el estrés oxidativo de las células, además estos antioxidantes naturales son capaces de estimular la respuesta del

sistema inmune, antiinflamatorios, estrogenos, vasodilatadores e inhibidores de enzimas prooxidantes como la cicloxigenasa y xantina oxidasa (Vintimilla, 2013).

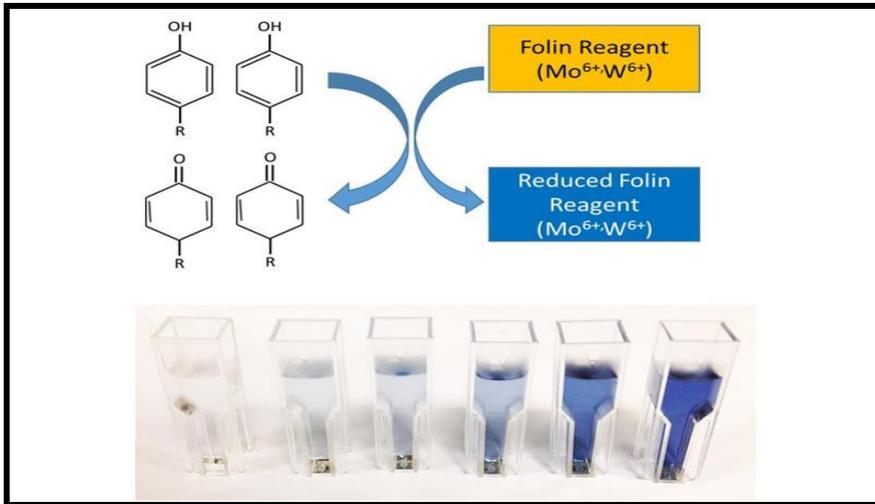
Compuestos fenólicos

Se definen como moléculas que contienen uno o más grupos hidroxilos unidos a un anillo aromático. Estos compuestos fenólicos junto con las vitaminas son considerados importantes antioxidantes que deben ser consumidos en una dieta, ya que se encuentran en hortalizas, raíces, cereales, frutas y verduras. Siendo su principal fuente las plantas clasificándose en diferentes grupos funcionales: fenoles simples, ácidos, ácidos hidroxibenzoicos, cumarinas, quinonas, lignanos, y ligninas. Los compuestos fenólicos tienen una serie de funciones en el metabolismo de las plantas, tales como el crecimiento, la reproducción y defensa contra patógenos externos, depredadores, la radiación UV y estrés oxidativo. También se le atribuye el color y características sensoriales de la planta y su fruto tal como la astringencia de la fruta (Peñarrieta, et al, 2014).

Método de Folin-Ciocalteu

El ensayo de Folin-Ciocalteu –FC-, se basa en la reacción de los fenoles con el reactivo FC, a un pH básico dando lugar a una coloración azul, la cual es susceptible a ser determinada espectrofotométricamente a 750 nm y se expresa en equivalentes de ácido gálico.

El reactivo es una mezcla de wolframato sódico y molibdato sódico en ácido fosfórico, teniendo así el ácido fosfomolibdotúngstico, de color amarillo, el cual al reaccionar con los fenoles presentes en la muestra es reducido, dando lugar a un complejo de color azul intenso, cuya intensidad es la que se puede medir para evaluar el contenido de fenoles (Figura 19), (García, et al, 2015).



“Figura 19: Mecanismo de acción del reactivo de Folin-Ciocalteu
Fuente: García, et al, A. (2015)”

La prueba de FC es similar a la de ABTS; que consiste en la reducción de la coloración verde/azul producida la reacción que sucede entre ABTS y persulfato de potasio, debido a que ambos métodos ayudan a determinar polifenoles y monofenoles, la ventaja que posee el método FC es que está relacionado con la obtención de una absorbancia, la cual es consecuencia de la aparición de color debido a la reacción de oxidación, no a una disminución de la absorbancia como ocurre con la prueba de ABTS, donde la presencia de compuestos fenólicos reduce el valor de la absorbancia (Aldana Pérez & Guayasamín Pérez, 2014).

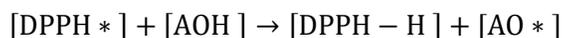
Determinación de la actividad antioxidante

La actividad antioxidante no se puede medir directamente, pero puede ser determinada por los efectos del compuesto antioxidante en un proceso de oxidación controlada (Aparcana & Villarreal, 2014; Tovar del Río, 2013). En la actualidad se han acogido diversas técnicas espectrofotométricas, las que determinan la capacidad antioxidante frente a sustancias cromógenas, donde se da una pérdida de color proporcional con la concentración (Vintimilla, 2013).

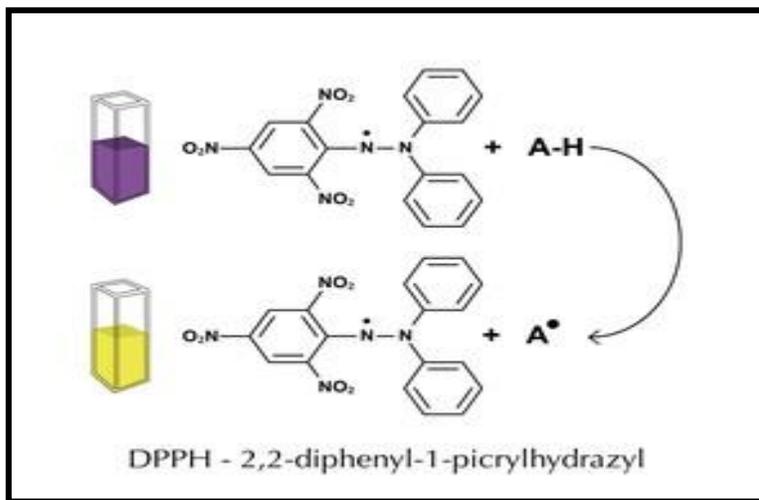
Método DPPH

Este método consiste en la medición de eliminación de radicales libres de los compuestos antioxidantes con DPPH ; el radical es estable y tiene una coloración violeta que se decolora progresivamente (figura 22), por la presencia de sustancias antioxidantes al obtener un radical libre (ecuación 1), siendo susceptible a ser determinada espectrofotométricamente a 517 nm.

El DPPH puede obtenerse directamente, en comparación con el método ABTS, que se genera tras una reacción química, enzimática o electroquímica (Vintimilla, 2013).



“Ecuación 1: Representación de la reacción entre el DPPH y un antioxidante.
Fuente: Guija, E., et al. 2013”



“Figura 22 cambio de coloración del DPPH al oxidarse, “shutterstock.com”

HIPOTESIS

La aplicación del pre tratamiento por ultrasonido y la asistencia por presiones reducidas en la pulpa de cereza en el secado por ventana de refractancia, deshidratara la pulpa de cereza en un menor tiempo de secado, manteniendo o con leves cambios en la concentración de bioactivos con respecto a la RW estándar.

OBJETIVOS

General

Determinar si la aplicación del pre tratamiento de ultrasonido y la asistencia de presiones reducidas en el secado por ventana de refractancia de la pulpa de cereza, generan algún efecto en la cinética de secado y en la concentración de compuestos bioactivos específicos.

Específicos

1. Estudiar la cinética de secado de la pulpa de cereza, para determinar las variables óptimas para su deshidratación.
2. Analizar los parámetros de calidad de los secados RW estándar, RW asistido por presiones reducidas y RW con pretratamiento por Ultrasonido.
3. Ajustar mediante el uso de modelos matemáticos la deshidratación de la pulpa de cereza mediante el secado por RW estándar, RW asistido por presiones reducidas y RW con pretratamiento por ultrasonido.

MATERIALES Y METODOS

MATERIA PRIMA

Se optó por realizar los experimentos con Cerezas congeladas sin carozos de 500 g, Minuto verde (figura 23). Que tiene la ventaja de disponibilidad todo el año y no incluye aditivos que podrían influir en el proceso de deshidratación.



“Figura 23: Producto Cereza sin Carozo 500 g, Minuto Verde (Líder)”

Se compró un total de 4 unidades equivalente a 2 kilogramos se abrieron y depositaron en un recipiente grande, se lavaron con agua fría para remover el hielo residual, se secó con paños secos y/o toalla nova para almacenar en un congelador. Se seleccionó la cereza según su color, juntando cerezas de colores similares separándolas y guardando en bolsas hermeticas para nuevamente congelarlas o para deshidratarlas.

INSTRUMENTAL

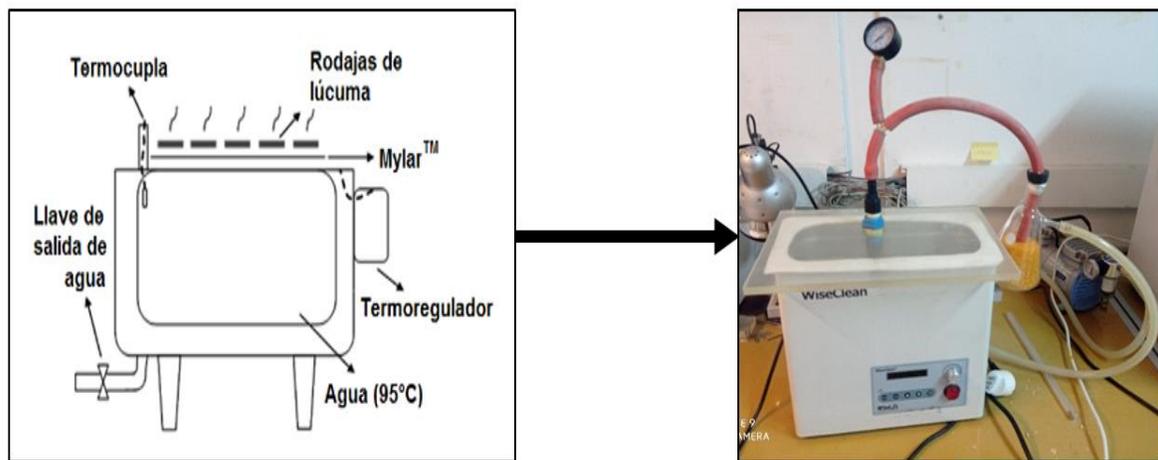
- 27 matraz de aforo de 10 ml
- Tubos de ensayo
- Espátula de laboratorio
- Mini espátula de laboratorio
- 3 matraz de aforo de 50 ml
- 1 matraz de aforo de 100 ml
- 1 matraz de aforo de 250 ml
- 1 Micro pipeta de 25 μ l a 100 μ l
- 1 Micro pipeta de 100 μ l a 250 μ l
- 1 Pipeta graduada de 10 ml
- 1 pipeta graduada de 5 ml
- 27 placas Petri
- 4 cubetas de vidrio (espectrofotómetro)
- Espectrofotómetro Thermo Scientific, Genesys 10S UV-VIS

REACTIVOS

- 2 litros de Metanol
- 250 ml HCl al 2% en Metanol
- 100 ml de DPPH 1.3 ppm en Metanol
- Solución madre de 50 ml 50 ppm de ácido Ascórbico
- 50 ml Reactivo de Folin-Ciocalteu al 10% v/v
- 100 ml de Na₂CO₃ anhidro 10% p/v
- 50 ml Na₂CO₃ anhidro 10% p/v
- 50 ml solución madre de Acido Gálico de 500 ppm
- 100 ml Cloruro de potasio (KCl); pH 1,0 (0,025 M)
- 100 ml Acetato de sodio (CH₃COONa), pH 4,5 (0,4 M).
- Agua destilada

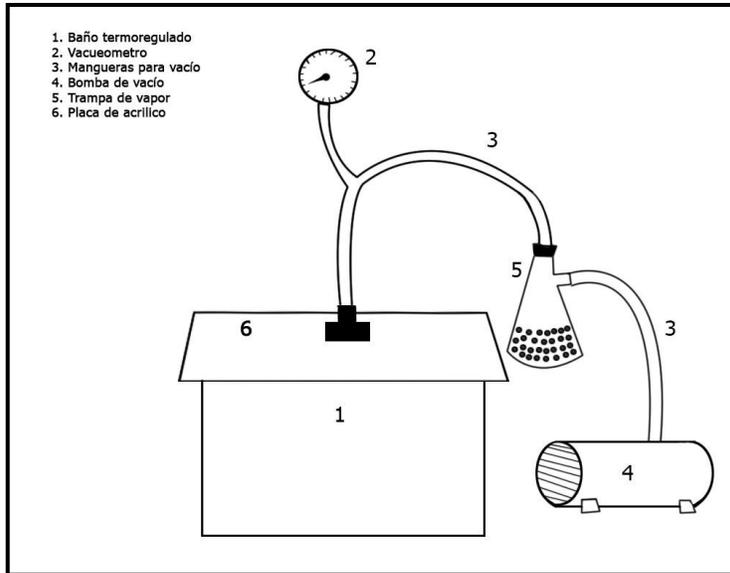
PROTOTIPO DE SECADOR DE VENTANA DE REFRACTANCIA (RW) ASISTIDO POR PRESIONES REDUCIDAS

La construcción de este prototipo se inspiró en un esquema modificado de una RW estático que se utilizó para la deshidratación de lúcumas (Gamboa, et al, 2014) que consta básicamente de una membrana de Mylar extendida y en contacto continuo sobre un baño termorregulador lleno de agua a altas temperaturas (figura 24), a lo que se sometió a modificaciones para soportar presiones reducidas durante el proceso de secado.



“Figura 24: modificación de un modelo de RW estático al RW asistido por presiones reducidas ”

Las modificaciones que se aplicaron a este esquema inicial fue retirar la película de Mylar ya que se utilizarán barcos de estos, aplicar una tapa hermética hecha de acrílico de 10 mm de espesor ayudado con silicona resistente a la temperatura para obtener un cierre aún más hermético sobre el baño termorregulador evitando que la presión externa entre al sistema, la tapa contará con una perforación en el centro de la tapa de unos 2 cm de radio con un adaptador (figura 25) para conectar una manguera de goma especializada para tolerar presiones reducidas, esta manguera estaría conectada a un vacuómetro que permitirá medir la presión y una trampa de vapor compuesta por un matraz kitasato lleno de sílica gel con la finalidad de absorber los vapores producidos de la deshidratación y evitar que estos lleguen a la bomba de vacío que estaría conectada (figura 25).



“Figura 25: Esquema de Prototipo RW asistido con presiones reducidas y adaptador de manguera respectivamente (invención propia)”

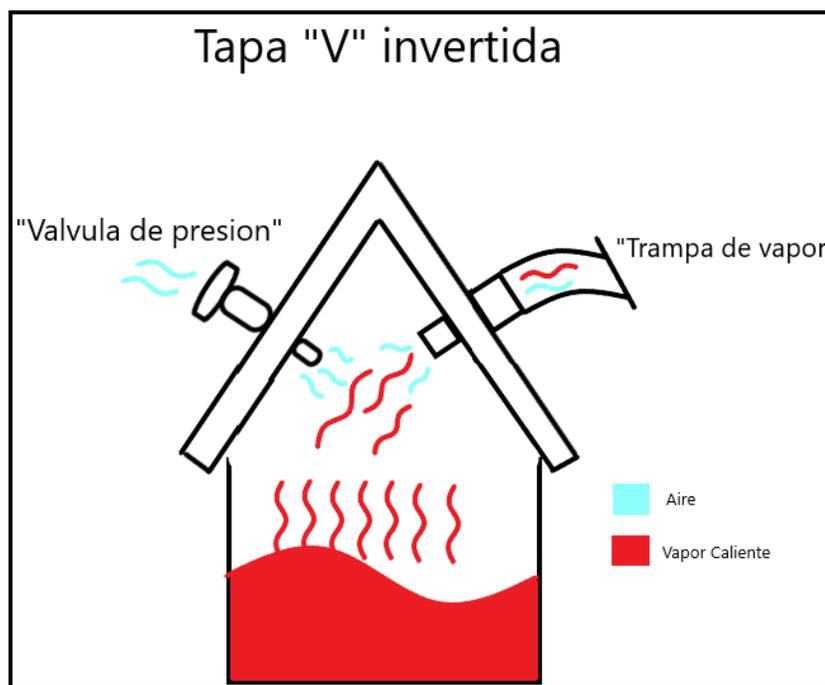
La utilización de este prototipo utilizar un baño termorregulador asegurándose que el agua este a la temperatura estipulada en el experimento, cuando alcance dicha temperatura se deberá incorporar las muestras a deshidratar (barcos de Mylar), para inmediatamente sellar con la tapa de acrílico ya conectada a la trampa de vapor con la bomba de vacío encendida, esperar a que se llegue a la presión estipulada en el experimento ayudándose por el vacuometro y apagar la bomba de vacío al alcanzar dicha condición, cuando la muestra este deshidratada o se desea registrar el peso de la muestra, se debe desconectar la manguera de forma lenta procurando que el aire entre al sistema de forma suave para que las sílica gel de la trampa de vapor no sea arrastrada al interior del baño termorregulador, retirar la tapa y extraer las muestras.

Un factor a tomar en cuenta es el aumento de la presión dentro del sistema debido a los vapores emitidos por la evaporación del agua del baño termorregulador, por lo que se debe estar en constante supervisión, en caso que haya un aumento activar nuevamente la bomba de vacío.

Una solución es trabajar con la presión máx. Que pueda ofrecer la bomba de vacío para tenerla activada de forma constante, pero se debe tener en cuenta que dependiendo de la capacidad de la bomba, existirán límites de temperaturas a las que se podrá trabajar debido a la disminución del punto de ebullición del agua a bajas presiones. Por lo que la aplicación de

una válvula de presión sobre la placa de acrílico con la finalidad de regular la entrada de aire al sistema que permita transportar los vapores a la trampa (figura 26).

Otro factor que se debe tomar en consideración durante el secado sería la continua condensación de los vapores de agua sobre la tapa de acrílico que provoca contaminación sobre la muestra por gotas condensadas bajo la tapa. La solución más aplicable es la modificación de la tapa de acrílico, pasando de una tapa de forma plana y rectangular a una en forma de "V" invertida (figura 26), permitiendo que las gotas condensadas se muevan por las esquinas de la tapa hacia el baño termostático en vez de gotear encima de las muestras.



"Figura 26: Esquema prototipo con mejoras implementadas"

SELECCIÓN DE TEMPERATURA, TIEMPO Y GROSOR

Se determinó la viscosidad de la pulpa mediante el método de viscosidad aparente (ecuación 2) masando un matraz de aforo de 25 ml y registrando su peso, luego se aforo hasta 10 ml con la pulpa y se zonifico por 5 minutos para la eliminación de burbujas atrapadas y se procedió a masar nuevamente y se calculó la densidad mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{m}{v} = \rho_a \text{ (ecuacion 2)}$$

Siendo “m” la masa de la pulpa aforada (g), “v” siendo el volumen aforado (10 ml) y “ ρ_a ” la densidad aparente (g/ml)

Se obtuvieron valores similares a la del agua, por lo que en un barco de Mylar dimensiones aproximadas de 5cm *5cm *3cm puede tener una masa y espesor de pulpa de cereza indicada en la tabla 2

Espesor película (mm)	Masa inicial película (g)
2	5
4	10
6	15
8	20
10	25

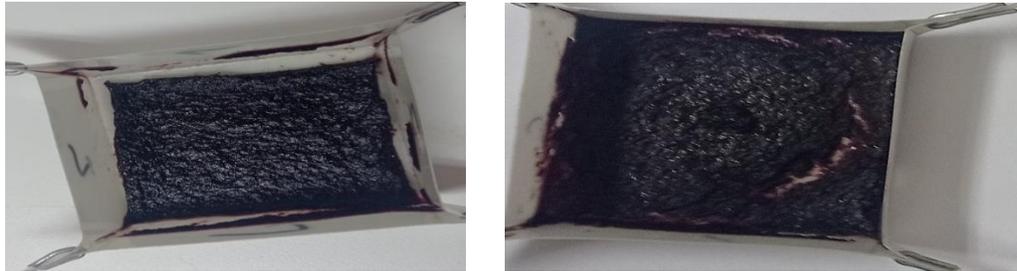
“Tabla 2: tabla del espesor de la película de pulpa de cereza en mm y la respectiva masa en g para obtener dicho espesor”

Se trabajaron estos espesores a temperaturas de 60°C a 90°C en intervalos de 10°C

Obteniendo los siguientes resultados:

- a- El espesor de 10 mm provoca el hundimiento inevitable del barco de Mylar debido a su elevado peso.

- b- Los espesores de 8, 6, 4 mm al deshidratar más del 70% de su masa se fractura múltiples veces (figura 27) inevitablemente a temperaturas superior o igual a 70°C siendo 90°C en el caso de 4mm.



“Figura 27: muestra de cereza fracturadas por una deshidratación acelerada en un grosor mayor a 4mm”

- c- El espesor de 4 mm tarda más de 2 horas de secado a 60°C realizar una deshidratación utilizando presiones reducidas en intervalo superior a 15 min generara una rehidratación por un excesivo contacto con los vapores de agua del baño termostático, debido a la estructura del invento se debe abrir la tapa para la expulsión de los vapores concentrados sin cambiar constantemente la presión.
- d- El espesor ideal seleccionado fue 2 mm debido a que su deshidratación es rápida y está dentro del tiempo de operación del diseño de la ventana de refractancia asistida por presiones reducidas.
- e- Se descartó a la temperatura de 90 ° C dado que la película de 2 mm de pulpa de cereza pardea excesivamente. Se agrega también que al aplicar las presiones reducidas que no se llega a la presión indicada debido a una agresiva ebullición a esa temperatura.

En base a estos resultados se determinó que al menos en las condiciones de que la muestra sea una pulpa, se trabaje a una presión de 0.02 MPa y las restricciones del prototipo de RW asistido por presiones reducidas no se podrá aplicar una metodología de superficie de respuesta por lo se realizara el experimento según las condiciones más optimas de deshidratación en la que existe un mayor control del secado, donde dichas condiciones óptimas son un rango de 60°C, 70°C y 80°C con un espesor de película de pulpa de cereza de 2 mm.

SECADO

ESTÁNDAR

- Baño termorregulador LabTech Modelo LWB-122D
- 9 barcos de Mylar de tamaño 10cm x 10cm x 2cm (forma cuadrada)
- Balanza analítica modelo AS 82/220.R2 PLUS
- Recipiente de 2 litros con agua fría
- Paños secos o Toalla nova
- Desecadora

ULTRASONIDO

- 10 Bolza hermeticas de 15 cm x 10 cm
- Baño termorregulador LabTech Modelo LWB-122D
- 9 barcos de Mylar de tamaño 10cm x 10cm x 2cm (forma cuadrada)
- Balanza analítica modelo AS 82/220.R2 PLUS
- Recipiente de 2 litros con agua fría
- Paños secos o Toalla nova
- Baño de ultrasonido ZCC00
- Desecadora

PRESIONES REDUCIDAS

- Baño termorregulador LabTech Modelo LWB-122D
- 9 barcos de Mylar de tamaño 10cm x 10cm x 2cm (forma cuadrada)
- Balanza analítica modelo AS 82/220.R2 PLUS
- Recipiente de 2 litros con agua fría
- Prototipo de RW asistido por Presiones Reducidas
- Paños secos o Toalla nova
- Desecadora

COLOR

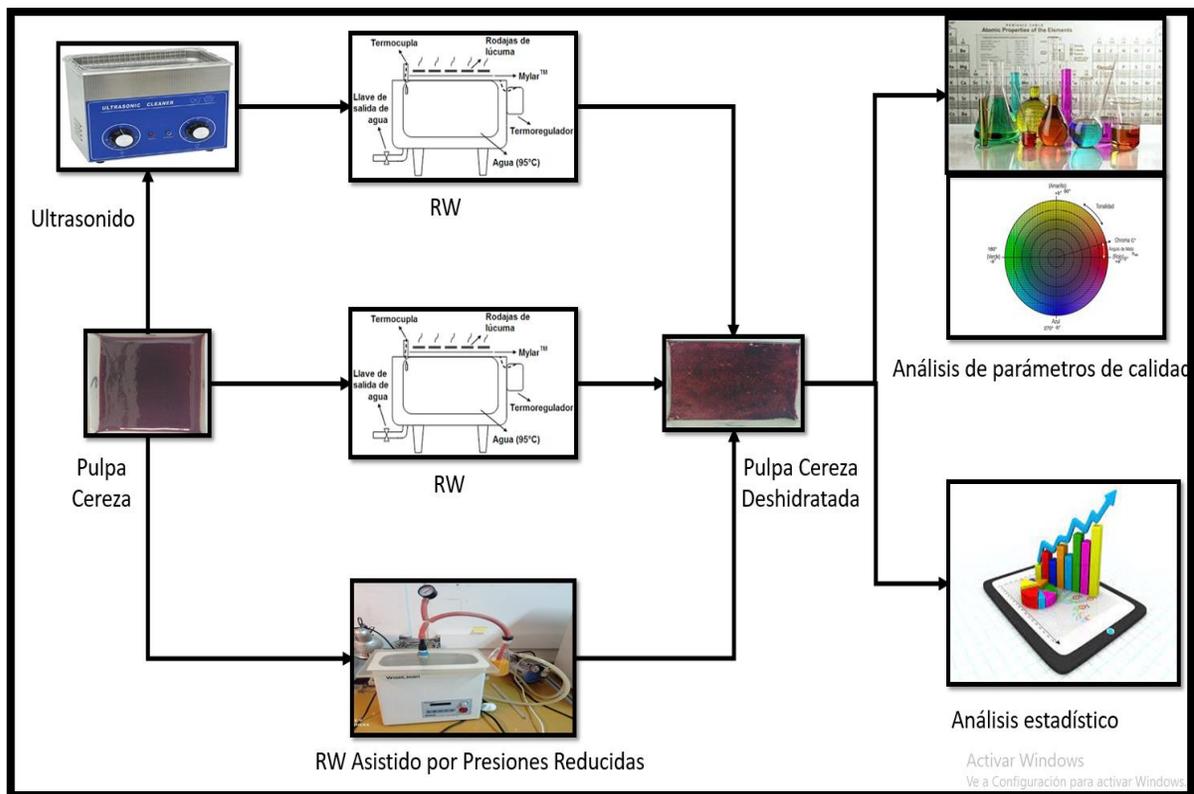
- Celular Redmi Note 9 (aumento de 1.2)
- Cuarto fotográfico (tamaño 35 cm x 25 cm x 25 cm)

SOFWARE

- Statgraphics (Programa estadístico)
- SciDAVis (Programa de modelamiento matemático)
- Excel (Programa de cálculo)
- Photoshop (Programa de edición de imágenes)
- Thermo Scientific™ VISION *pro*™ (programa de medición del espectrofotómetro)

METODOLOGIA

Se puede observar que en la figura 28 un esquema ilustrativo que resume la metodología realizada a la pulpa de cereza:



“Figura 28: Metodología general del diseño de experimento”

Preparación de la muestra

A las cerezas seleccionadas se le realizó un lavado con abundante agua con finalidad de eliminar el hielo superficial del fruto, para luego eliminar el agua superficial. Se descongeló parcialmente la muestra en agua a una temperatura de 30°C un tiempo aproximado de 3 min.

Se utilizó una picadora Moliunex de 750 W de potencia durante un tiempo promedio de 10 segundos y luego se utilizó una batidora de inmersión (mini pimer Oster 250W) por 20 segundos para obtener la pulpa de cereza. La pulpa de cereza obtenida se almacena a temperaturas de -5°C.

Experimentos de secado.

Estándar.

Inicialmente se preparó un barco de Mylar (10cm x 10cm x 2cm) registrando su peso en una balanza analítica modelo AS 82/220.R2 PLUS (precisión de ± 0.001 g) procurando que este nivelada y calibrada. Después se taro la masa del barco de Mylar y con la ayuda de una espátula de laboratorio se masó 5 gramos de pulpa de cereza para después registrar su peso, con el peso registrado se procuró esparcir la pulpa de cereza por toda el área del barco de Mylar asegurándose que quede una capa homogénea.

La plataforma se dejó flotando en un baño termorregulador LabTech Modelo LWB-122D, realizando secados a temperaturas de 60 °C, 70°C, 80°C respectivamente. Al momento de registrar el peso de muestra se aseguró de secar la parte inferior humedecida del barco de Mylar. Al llegar a peso constante, se despegó la película de cereza de la plataforma de Mylar ayudándose de una espátula pequeña y se guarda en una placa Petri para almacenamiento o análisis.

Bajas presiones.

Inicialmente se preparó un barco de Mylar (10cm x 10cm x 2cm) registrando su peso en una balanza analítica modelo AS 82/220.R2 PLUS (precisión de ± 0.001 g) procurando que este nivelada y calibrada. Después se taro la masa del barco de Mylar y con la ayuda de una espátula de laboratorio se masó 5 gramos de pulpa de cereza para después registrar su peso, con el peso registrado se procuró esparcir la pulpa de cereza por toda el área del barco de Mylar asegurándose que quede una capa homogénea.

La muestra se introdujo en el prototipo (que consiste en un baño ultrasónico de WUC-A10H de 6 L, una bomba de vacío Dosivac DVRII-1A 1/3HP y una placa de acrílico de 10 mm de espesor, (figura 24) levantando la tapa de acrílico y dejándolo en su interior, se activó la bomba de vacío hasta obtener una presión vacuo métrica de 0.02 MPa realizando secados a temperaturas de 60 °C, 70°C, 80°C respectivamente Al momento de registrar el peso de muestra se aseguró de secar la parte inferior humedecida del barco de Mylar. Al llegar a peso constante, se despegó la película de cereza de la plataforma de Mylar ayudándose de una espátula pequeña y se guarda en una placa Petri para almacenamiento o análisis.

Ultrasonido

Se vertieron 25 gramos de pulpa de cereza en una bolsa hermética de tamaño pequeño asegurándose de que la pulpa cubra la mayor cantidad de área de la bolsa, esta se introduce, en un baño de ultrasonido ZCC00 a una temperatura de 20°C-25 °C durante 20 min a una frecuencia de 40kHz y potencia de unos 150 kW.

Se preparó un barco de Mylar (10cm x 10cm x 2cm) registrando su peso en una balanza analítica modelo AS 82/220.R2 PLUS (precisión de ± 0.001 g) procurando que este nivelada y calibrada. Después se taro la masa del barco de Mylar y con la ayuda de una espátula de laboratorio se masó 5 gramos de pulpa de cereza para después registrar su peso, con el peso registrado se procuró esparcir la pulpa de cereza por toda el área del barco de Mylar asegurándose que quede una capa homogénea.

La plataforma se dejó flotando en un baño termorregulador LabTech Modelo LWB-122D, realizando secados a temperaturas de 60 °C, 70°C, 80°C respectivamente. Al momento de registrar el peso de muestra se aseguró de secar la parte inferior humedecida del barco de Mylar. Al llegar a peso constante, se despegó la película de cereza de la plataforma de Mylar ayudándose de una espátula pequeña y se guarda en una placa Petri para almacenamiento o análisis.

Determinación del Coeficiente de Difusividad Efectiva

Se entiende por difusividad efectiva en la deshidratación de los alimentos, como un parámetro cuantificable que mide la transferencia de materia, en este caso, de fluidos tal como agua perteneciente a los alimentos desde su centro térmico hasta el exterior, esta difusión efectiva engloba todos los factores que aportan algún grado de difusividad durante el proceso, como la temperatura, los solutos pertenecientes al alimento e incluyendo las reacciones químicas que se producen durante la deshidratación como la reacción de Maillard entre otras (Chan, et al, 2015).

Se determinó el Coeficiente de difusividad efectiva mediante la segunda ley de Fick para una película infinita, obteniendo una regresión lineal de la función linealizada de la razón humedad (MR) (Qin-An, 2016).

$$\ln MR = \ln \frac{8}{\pi^2} - \frac{\pi^2 D_{eff} t}{4L^2} \quad (\text{ecuacion 3})$$

$$y = a + s * x \rightarrow s = \frac{\pi^2 D_{eff}}{4L^2} \quad (\text{ecuacion 4})$$

$$D_{eff} = - \frac{4L^2 s}{\pi^2} \quad (\text{ecuacion 5})$$

Donde MR es la razón de humedad D_{eff} es el coeficiente de difusividad efectiva (m^2/s) L es la mitad del grosor de la muestra (mm), t es tiempo de secado en segundos y s es la pendiente del Ln (MR).

Determinación de la Energía de libre

La energía libre de Arrhenius se determinó mediante una relación entre la difusividad efectiva a través de la siguiente ecuación

$$D_{eff} = D_0 - e^{\frac{E_a}{RT}} \quad (\text{ecuacion 6})$$

Donde D_{eff} es la difusividad efectiva (m^2/s), D_0 es el factor de difusión (m^2/s), E_a es la energía de activación (kJ/mol), R es la constante universal ($J/mol \cdot K$) y T es la temperatura (K). Al realizar una regresión lineal en función de la difusividad efectiva a través de la temperatura ($1/T$) obtenemos dicha ecuación:

$$s = -\frac{E_a}{R} \text{ (ecuacion 7)}$$

Se despeja la energía libre y obtenemos:

$$-S * R = E_a \text{ (ecuacion 8)}$$

Siendo s (slope) la pendiente de la regresión.

Determinación de la curva de secado.

La curva de secado se construyó mediante el uso de los datos registrados durante los procesos de secado, estableciendo una curva de Tiempo vs Humedad.

Humedad en base seca

$$X = \frac{m_{H2O}}{Ls} = \frac{m_{H2O}}{m_{sh} - m_{H2O}} \text{ (ecuacion 9)}$$

Donde m_{H2O} : Masa de agua; Ls : Masa solido seco

Relación entre la humedad en base húmeda y en base seca

$$X_{bh} = \frac{X}{1 + X} \left(\frac{Kg H2O}{Kg sh} \right) \text{ (ecuacion 10)}$$

Donde; X_{bh} : Humedad en base húmeda; X : Humedad en base seca

Razón de humedad

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} \text{ (ecuacion 11)}$$

Donde; M : Humedad a tiempo determinado; M_0 : Humedad inicial; M_e : Contenido de Humedad en el equilibrio

Modelamiento matemático de las curvas de secado

Se realizara el modelamiento mediante el ajuste de la cinética de secado utilizando cinco modelos matemáticos que serán descritos en la siguiente tabla:

“Tabla 3: tabla de modelos matemáticos”

Modelo	N°	Modelo	Constantes	Referencias
Henderson-Pabis	(1)	$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} = ae^{-kt}$	k y a: cte. t: tiempo	Secado Maíz (Henderson y Pabis, 1961)
Page modificado	(2)	$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} = e^{(-kt)^n}$	k, n: cte. t: tiempo	Secado pimienta roja (White, et al., 1978)
Page	(3)	$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} = e^{-kt^y}$	k y e: cte. t: tiempo	Secado Maíz (Page, 1949) Pistachos (Kashaninejad et al., 2007) Soja verde (Yang & Zhu, 2015)
Midilli modificado	(4)	$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} = ae^{-kt} - bt$	a, b, k: cte. t: tiempo	Secado tomate (Midilli, Kukur y Yapar, 2002)
Weibull	(5)	$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} = e^{-\left(\frac{t}{\beta}\right)^\alpha}$	α, β : cte. t: tiempo	Rodajas de zanahoria (Corso, et al., 2008)
Midilli-Kucuk	(6)	$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} = ae^{-(kt^y)} + bt$	k, y, a, b: cte. t: tiempo	Semillas de calabaza con cascara (Ortiz-Jerez et al., 2022) semillas de girasol (Smaniotto et al., 2017)

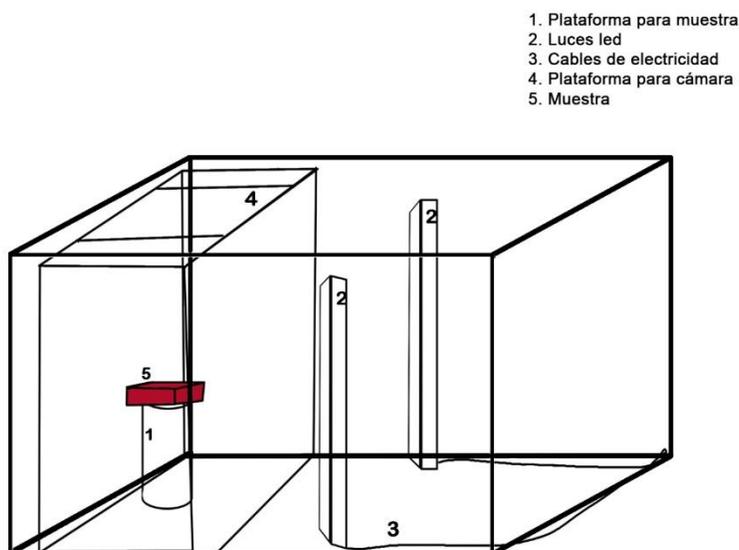
Estos modelos son los más comunes cuando se relacionan con materias primas orgánicas y biológicas (Kashaninejad et al., 2007)

Colorimetría.

Para el análisis de color se utilizó la cámara de un celular Redmi Note 9 dentro de un cuarto fotográfico de 35 cm x 25 cm x 25 cm con dos fuentes de luz (luces halogenadas de 6W, 6400k, 4T) se construyó una plataforma para tomar una fotografía desde arriba estando a una distancia de 15 cm de la muestra con un aumento de cámara de x1.2 (figura 29) se forro el interior del cuarto con color blanco para un mayor contraste con los colores oscuros de la muestra de pulpa de cereza.

Se tomaron fotografías a las pulpas deshidratadas según el tratamiento junto con una de pulpa de cereza fresca con la finalidad del punto de referencia o inicial para los posteriores análisis de colorimetría. Las fotografías se midieron los parámetros L*(Blanco a Negro), a*(Rojo a Verde) y b*(Amarillo a Azul) mediante el programa de edición de fotografías Adobe Photoshop CS6 (Castaldo, 2015).

Se midieron las diferencias de color según la ecuación (12)



“Figura 29: Esquema cuarto fotográfico”

$$\Delta E_{ab}^* = \sqrt{(L^*_2 - L^*_1)^2 + (a^*_2 - a^*_1)^2 + (b^*_2 - b^*_1)^2} \text{ (ecuacion 12)}$$

Análisis Químicos.

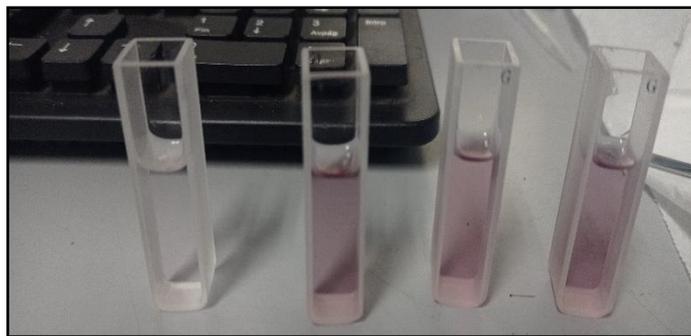
Extracción

Se utilizó el método según de Souza et al. (2014) donde se pesó 1.0 ± 0.001 g de la muestra triturada en tubos de centrifuga (15 mL) y se llenó hasta 10 mL con HCl al 2% en metanol y luego se puso en el baño un baño de ultrasonido ZCC00 durante 10 min a temperatura ambiente. A continuación, se utilizó una centrifuga Eppendorf 5804-R (Figura 29) durante 10 min a $2683 \times g$ (RCF) o 3770 RPM (radio motor 170 mm), el sobrenadante se transfirió a otro tubo de centrifuga para su posterior análisis dejándolo en un lugar frio y en ausencia de luz solar mientras que el precipitado es desechado.

Capacidad antioxidante método TEAC DPPH.

En una solución de 100 ml de metanol se disolvió $1.3 \mu\text{g}$ de DPPH se aplica ultrasonido por 10 min a temperatura ambiente para favorecer una mayor disolución del sustrato y se afora guardando en un lugar frio y oscura para disminuir su oxidación, se realiza una solución diluida del extracto de cerezas trasvasijando 3 ml de extracto en un matraz de 10 ml aforando con metanol, se utilizó el ácido Ascórbico como solución patrón (0.0125-0.0625-0.125-0.625-1.25-6.25-12.5 ppm)

Se construyó una curva de calibración agregando en un matraz volumétrico de 5 ml, 3 ml de solución patrón 1 ml de solución de DPPH y se afora con metanol. Se midió su absorbancia a 517 nm en dos ocasiones, una inicial (min 0) y una segunda a los 10 min de reacción en un lugar oscuro, al completar el tiempo de reacción la muestra se lee su absorbancia nuevamente mediante un espectrofotómetro usando metanol como blanco (Thermo Scientific, Genesys 10S UV-VIS, Ottawa, ON, Canadá) y utilizando cubetas de vidrio (figura 30). El resultado de la ecuación 13 se expresaría en ($\mu\text{mol Ac. Ascórbico/g}$), (Souza et al. 2014) (Rumpf, et al, .2023).



“Figura 30: fotografía de las medición de las muestras de cereza luego de la reacción de oxidación con DPPH”

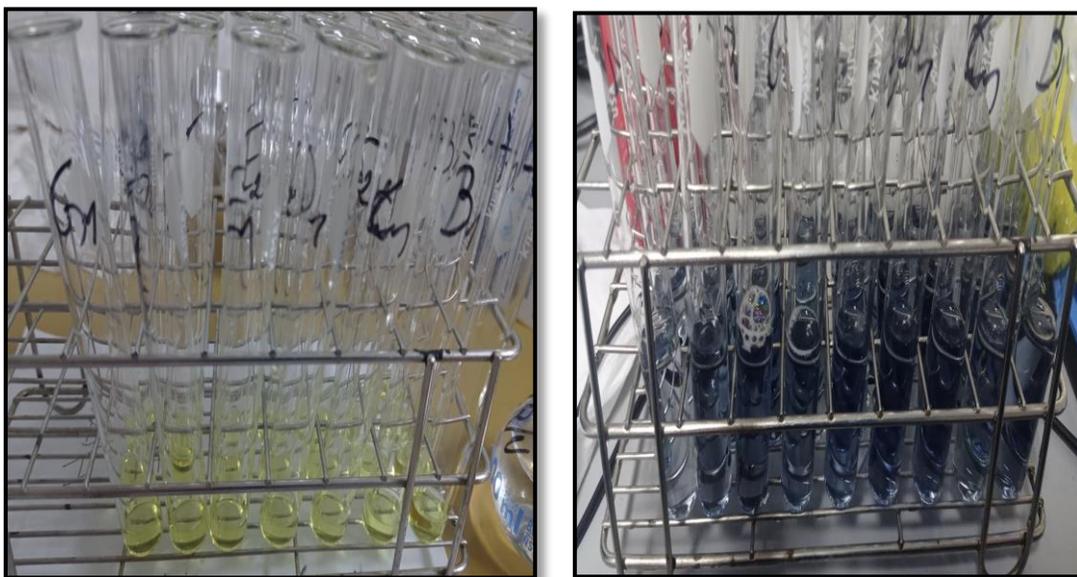
$$TEAC\ DPPH \left(\frac{trolox}{litro} \right) = \left(\frac{Abs\ muestra - A}{B} \right) * FD \text{ (ecuacion 13)}$$

Donde Abs. Muestra es absorbancia de la muestra, A intercepto (19.9 aprox.), B (6.6 aprox.) pendiente, FD (66) factor de dilución

Determinación del contenido fenólico

Se prepararon los reactivos de Reactivo de Folin-Ciocalteu al 10% v/v en un matraz de 25 ml con metanol, 100 ml de Na₂CO₃ anhidro 10% p/v con metanol, se preparó una solución madre de ácido gálico pesando 25 mg en 100 ml de metanol, a partir de esta solución madre se sintetizaron 8 concentraciones diferentes de soluciones patrón de ácido gálico (0-25-50-75-100-150-200-250 ppm). En un matraz de aforo de 10 ml se vierten 0.5 ml de Reactivo de Folin-Ciocalteu al 10% v/v, 0.5 ml de la solución diluida de Acido Gálico, 1 ml de Na₂CO₃ anhidro 10% p/v y 8 ml de metanol aforando con metanol, se dejó reaccionando por 2 horas en oscuridad. A continuación, se determinó la absorbancia de las soluciones a una longitud de onda de 765 nm en un espectrofotómetro (Thermo Scientific, Genesys 10S UV-VIS, Ottawa, ON, Canadá) y cubetas de vidrio con metanol como blanco con la que se construyó una curva de calibración estándar para el contenido fenólico utilizando ácido gálico como patrón Todos los puntos de concentración de calibración se ejecutaron por triplicado (Rumpf, et al, .2023).

Los trasvasijaron los extractos de pulpas de cerezas y se diluyeron a la mitad de su concentración en un matraz de 5 ml del cual nuevamente se trasvasijo 0.5 ml de extracto diluido se sometió al mismo proceso de reacción mencionado anteriormente (Figura 31), el extracto después de la reacción se le mide su absorbancia por triplicado. El contenido fenólico total se expresó en mg de ácido gálico equivalente (GAE / 100 g de la muestra) según se determina a partir de la curva estándar generada con ácido gálico (de Souza et al., 2014).

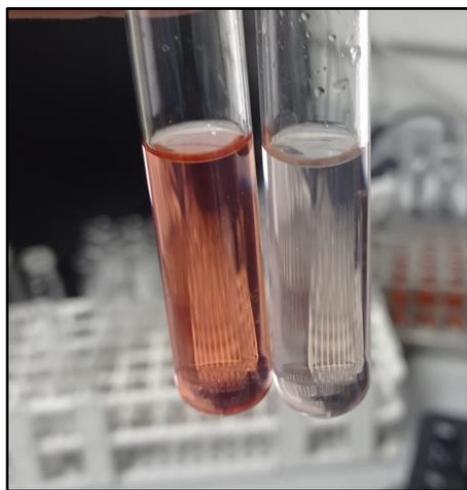


“Figuras 31: reacción de Folin-Ciocalteu antes y después del extracto de cereza respectivamente”

Determinación del contenido de antocianinas.

El contenido de antocianinas totales (CAT) se determinó según el método de pH diferencial (Paredes, et al., 2018) (Martínez-Cruz, et al., 2011) usando dos sistemas buffer: A: cloruro de potasio (KCl); pH 1,0 (0,025 M), B: acetato de sodio (CH₃COONa), pH 4,5 (0,4 M). Se realizaron 2 reacciones en paralelo la primera en un matraz de aforo de 10 ml se añadió 1 ml de extracto de cereza junto con 1 ml de Buffer A, se aforo con agua destilada y agito, la segunda reacción se utilizó las mismas concentraciones reemplazándolos con el Buffer B. Se utilizó un espectrofotómetro Thermo Scientific, Genesys 10S UV-VIS, Ottawa, ON, Canadá junto con cubetas de vidrio, las mediciones fueron realizadas a 520 y a 700 nm (Figura 36).

El contenido de antocianinas monoméricas fue calculado como cianidina-3-glucósido de acuerdo a la ecuación 14 y 15.



“Figura 36: reacción de antocianinas por pH diferencial donde se observa en el tubo de la izquierda la reacción con KCl y a la derecha la reacción con acetato de sodio”

$$A = (A_{520} - A_{700})_{pH\ 1.0} - (A_{520} - A_{700})_{pH\ 4.5} \text{ (ecuacion 14)}$$

$$CAT \left(\frac{mg \text{ cianidina} - 3 - \text{glucosido}}{L} \right) = \frac{A * PM * FD * 1000}{\epsilon * l} \text{ (ecuacion 15)}$$

Donde A es el cambio en la absorbancia, CAT contenido de antocianinas (mg/L), PM masa molecular para cianidina-3-glucósido 449.2 g/mol, ϵ coeficiente de extinción molar para cianidina-3-glucósido 26900 L/mol.cm, l camino óptico de celda 1 cm, FD factor de dilución (10).

Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza multifactorial (ANOVA) para la diferencia de color, cte. de modelos matemáticos y difusividades, también se realizó pruebas de rangos múltiples por método de Tukey HSD junto con el grafico de medias para reconocer diferencias significativas entre los métodos (ventana de refractancia, ultrasonido y presiones reducidas), a través de Fenoles Totales, Cap. Antioxidante y Antocianinas a un nivel de confianza del 95% ($p < 0.05$).

Los modelos matemáticos se evaluaron mediante análisis de regresión lineal, donde se calcularon los coeficientes de determinación (R^2) (ecuación 16), Chi cuadrado (χ^2) (ecuación 17) y el valor de raíz cuadrada media (RMSE) (ecuación 18). En la que se determinó el mejor modelo aquel que tenga un mayor valor de coeficiente de determinación y bajos valores de Chi-cuadrado y raíz cuadrada media (Qin-An, 2016)

Para el cálculo de estos tres parámetros estadísticos se utilizaron las siguientes ecuaciones:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2}{\sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2} \text{ (Ecuación 16)}$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2}{N-z} \text{ (Ecuación 17)}$$

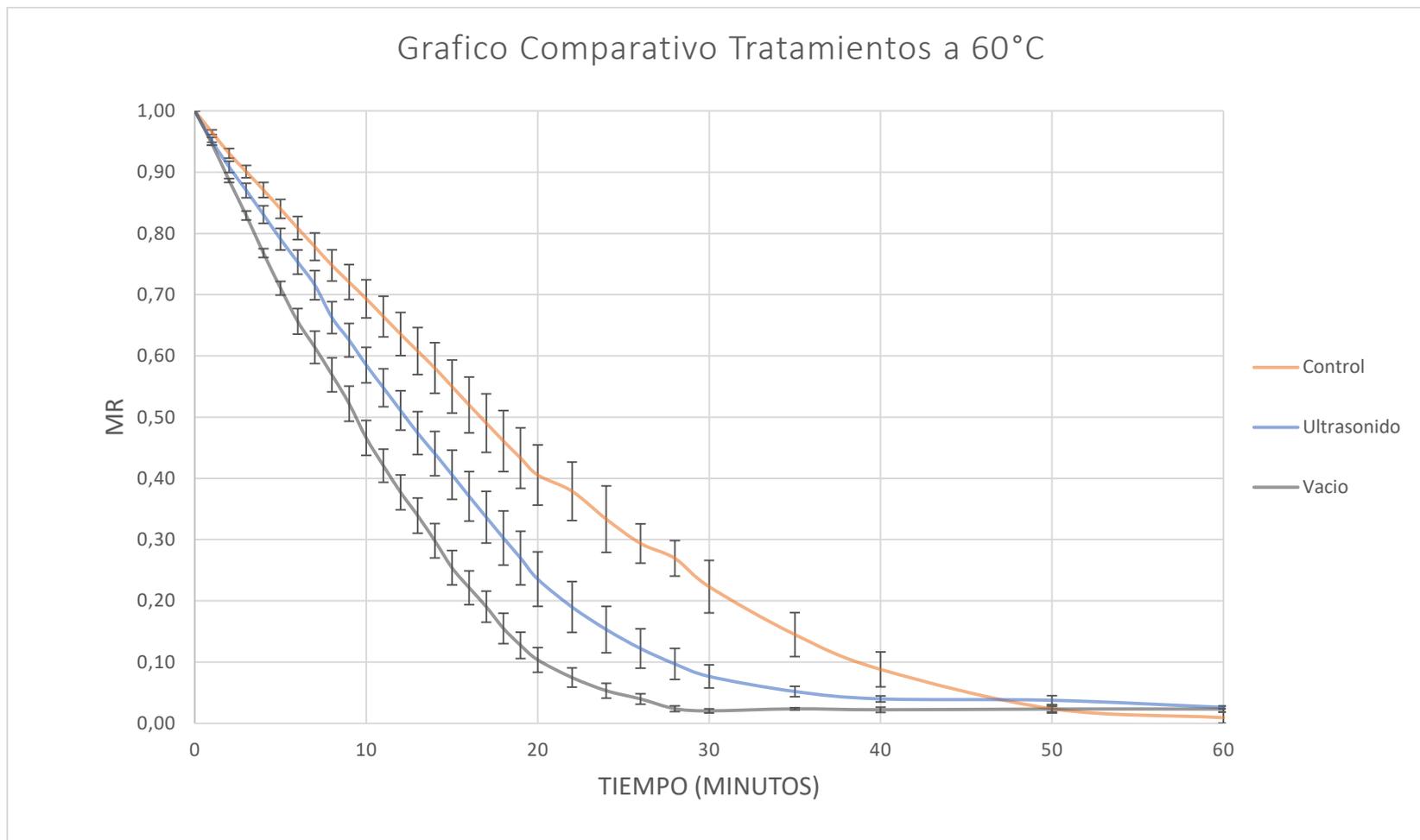
$$RSME = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2}{N}} \text{ (Ecuación 18)}$$

Para todas las pruebas realizadas se utilizó un 95% de confianza

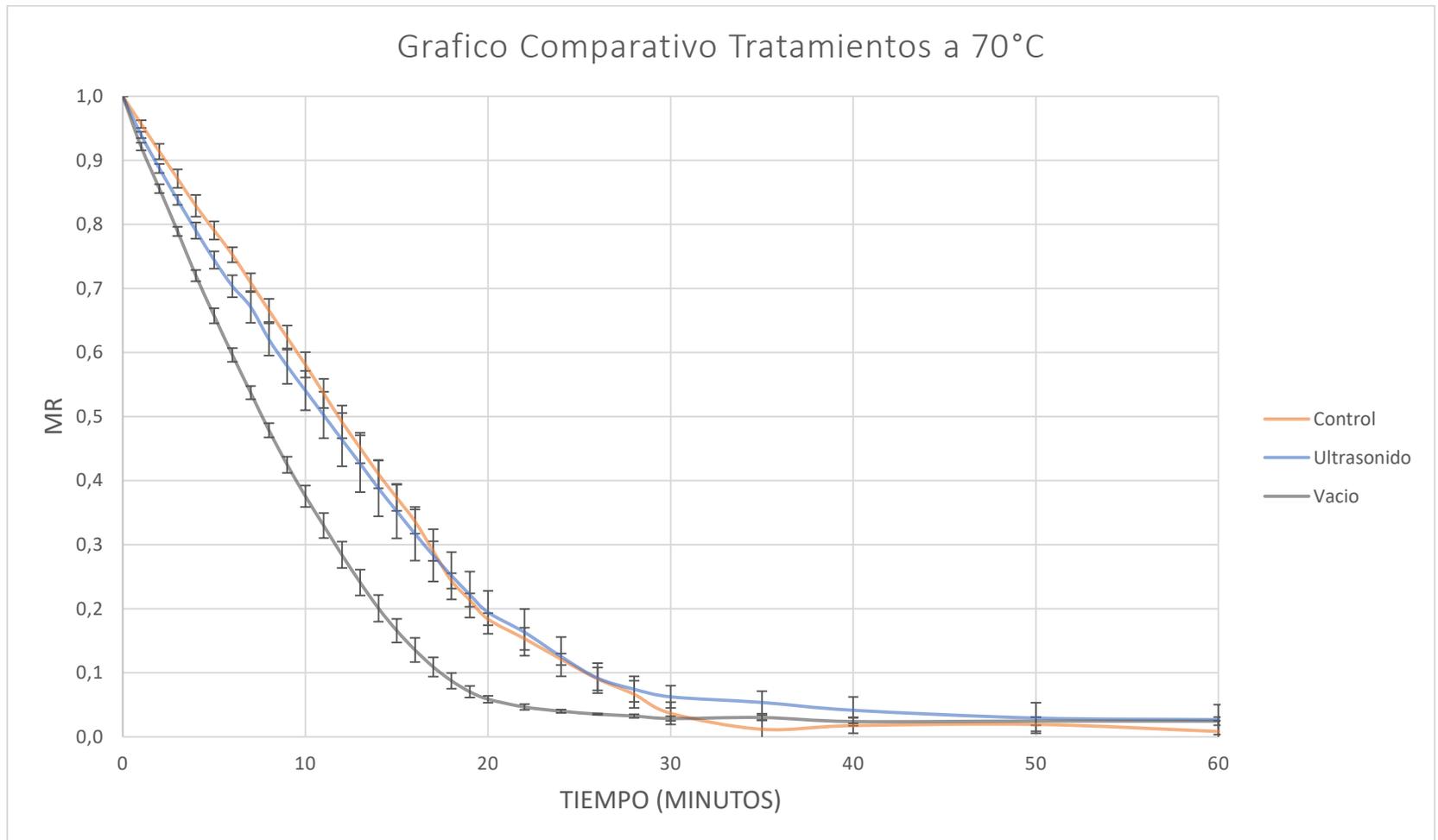
RESULTADOS

Análisis de Gráficos

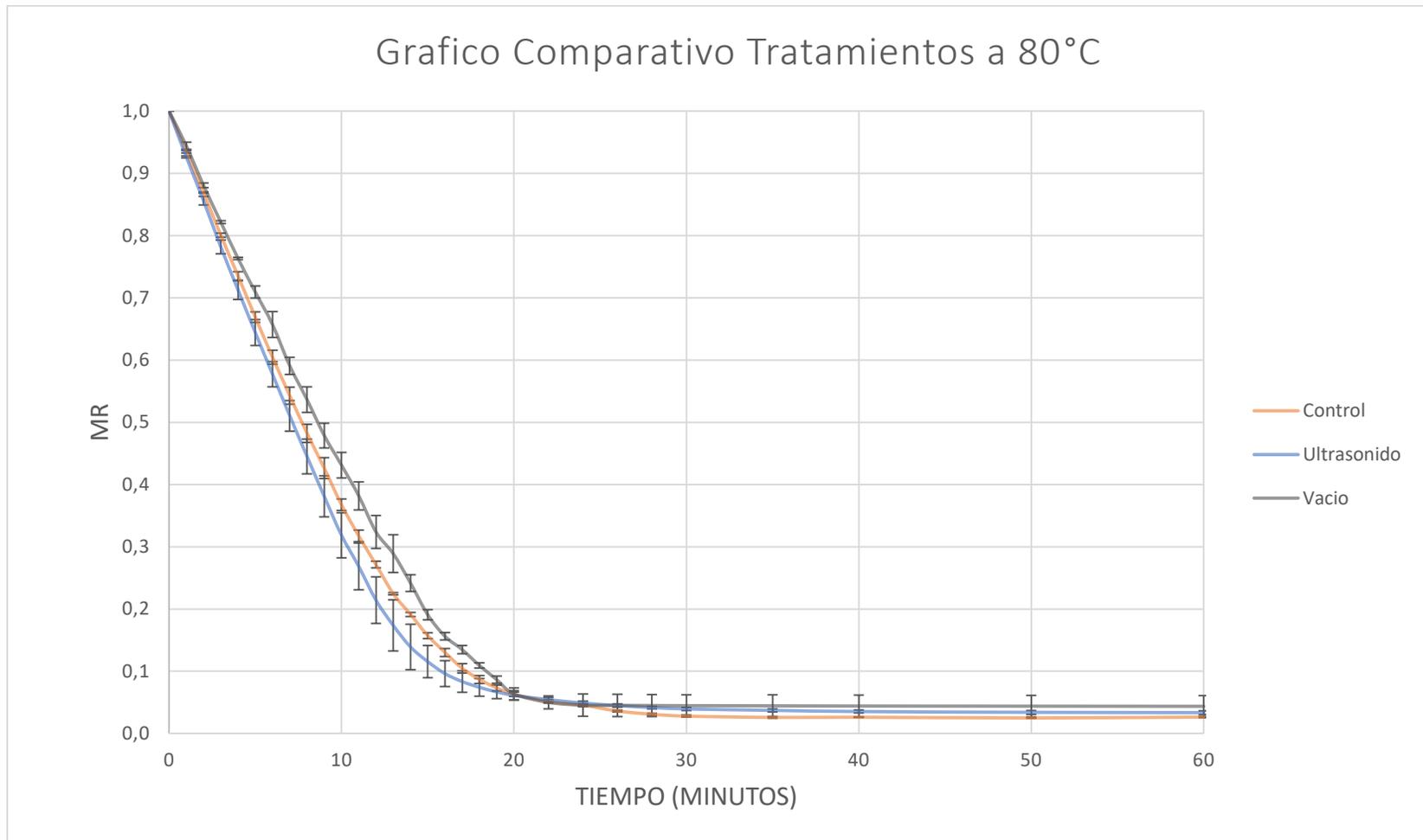
La cinética de secado del experimento se realizó un total de 9 veces en triplicado en las condiciones de una película de pulpa de cereza de 2 mm de espesor en un rango de temperatura de 60°C, 70°C, 80°C con un pretratamiento de ultrasonido, aplicación de presiones reducidas y un estándar o control con el cual ejercer una referencia. Para una mayor visualización de la cinética de secado los datos fueron graficados y unidos en grupos de tratamientos diferentes a igual temperatura y el mismo tratamiento a igual temperatura.



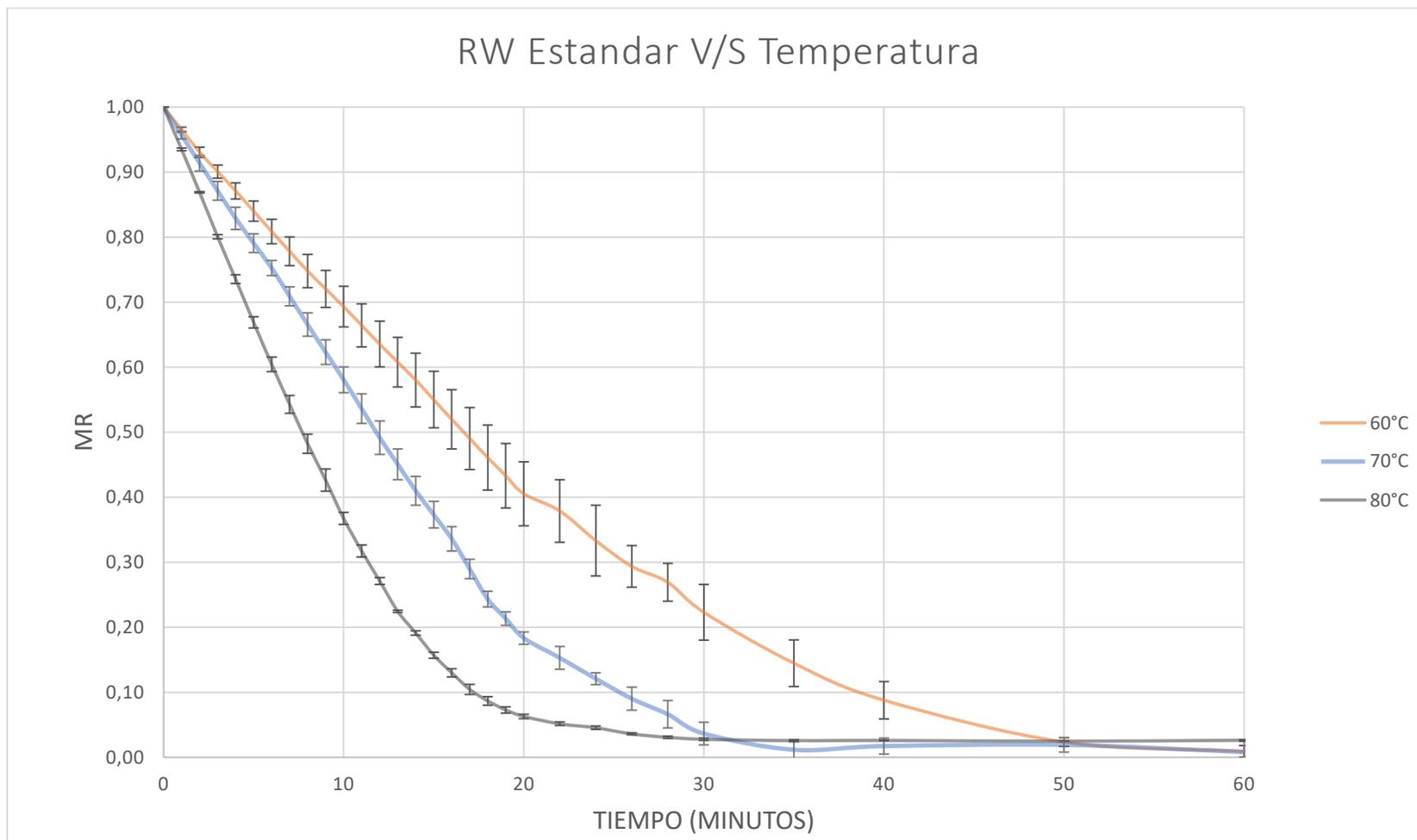
“Grafico 1, grafico comparativo de la humedad (MR) en función del tiempo de la pulpa de cereza a una temperatura de 60°C de tres tratamientos control (rojo), ultrasonido (azul) y presiones reducidas o vacío para abreviar (verde)”



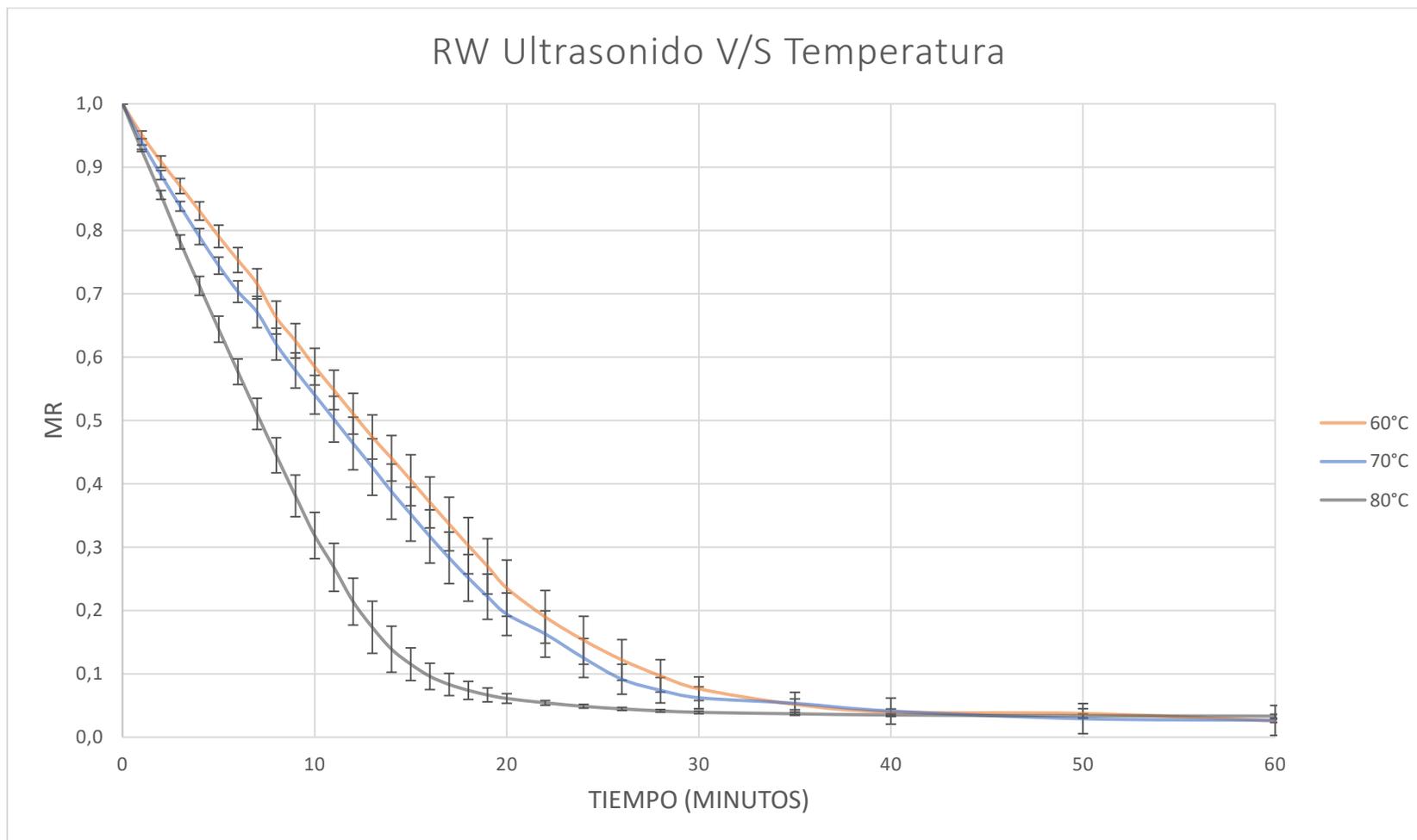
“Grafico 2, grafico comparativo de la humedad (MR) en función del tiempo de la pulpa de cereza a una temperatura de 70°C de tres tratamientos control (rojo), ultrasonido (azul) y presiones reducidas o vacío para abreviar (verde) ”



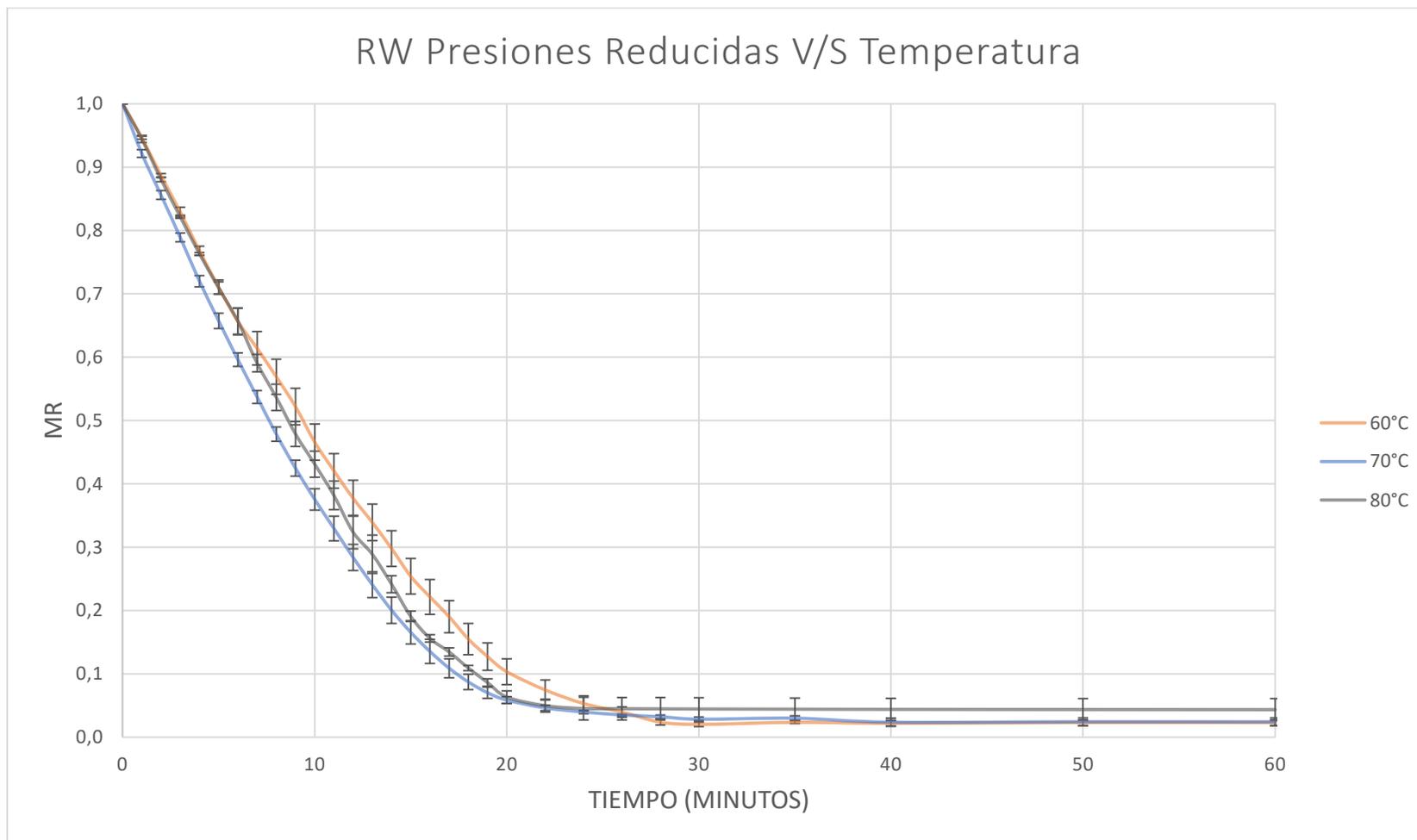
“Grafico 3, grafico comparativo de la humedad (MR) en función del tiempo de la pulpa de cereza a una temperatura de 80°C de tres tratamientos control (rojo), ultrasonido (azul) y presiones reducidas o vacío para abreviar (verde)”



“Grafico 4, grafico comparativo de la humedad (RM) en función del tiempo de la pulpa de cereza a diferentes temperaturas: 60°C (naranja), 70°C (azul), 80°C (verde) mediante secado por ventana de refractancia estándar ”



“Grafico 5, grafico comparativo de la humedad (MR) en función del tiempo de la pulpa de cereza a diferentes temperaturas: 60°C (naranja), 70°C (azul), 80°C (verde) mediante secado por ventana de refractancia con pretratamiento de ultrasonido”



“Grafico 6, grafico comparativo de la humedad (MR) en función del tiempo de la pulpa de cereza a diferentes temperaturas: 60°C (rojo), 70°C (azul), 80°C (verde) mediante secado por ventana de refractancia asistido por presiones reducidas”

Al observar la cinética de secado de todos los gráficos podemos inferir que tienen un comportamiento de decaimiento exponencial y la influencia de la temperatura es destacable a simple vista. Se ha observado comportamientos similares (Ochoa, et al., 2012), (Azizi, et al., 2016), (Abonyi, et al., 2002) donde al aumentar la temperatura la velocidad de secado aumenta y el tiempo de deshidratación hasta llegar al punto de equilibrio disminuye.

Al observar todos los se puede describir que las curvas de los tratamientos se asemejan cada vez más entre sí a medida que la temperatura va en aumento a tal punto que a una temperatura de 80°C las curvas tienen una pendiente y tiempo de secado similar siendo un aproximado de 20 min. Las curvas que más muestran un cambio significativo en su velocidad de secado y tiempo de deshidratación es la curva del control demorando inicialmente 50 min a 60°C a menos de 20 minutos a 80°C siendo una reducción del tiempo de deshidratación de más del 50% en este contexto se ha deshidratado cereza y alimentos similares por métodos convencionales y asistidos como secado por aire caliente asistidos con microondas que tenía un rango de tiempo de deshidratación entre los 720 – 3000 min a rangos de 50 °C a 70°C de una cereza (Horuz, et al., 2017) , agregando otros estudios de la deshidratación natural, por convección de aire caliente, microondas y combinado en rangos de 60°C a 90°C tardando un tiempo de secado de 4000, 260, 50, 30 min respectivamente (Mahrukh, et al., 2021).

Difusividades efectivas

Al observar la tabla 9 podemos observar que el rango de difusividades es entre los 0.05 a 8.1 X 10⁻¹⁰ (m²s⁻¹) valores que son mayores a los vistos en otros estudios tal como deshidratación de (Kaur, et al., 2017) puré de mango (De_{ff}: 7.0–11.0 x10⁻⁹ m²/s) y (Ocoró-Zamora, et al., 2013) puré de papaya (De_{ff}: 4.25–7.68 _ 10x ⁻¹⁰ m²/s).

Difusividad Efectiva (m ² s ⁻¹) X10 ⁻¹⁰			
Tratamiento	Temperatura (°C)		
	60	70	80
RW Estándar	0,050±0,007 ^{Aa}	0,095±0,003 ^{Ad}	0,162±0,004 ^{Af}
RW Ultrasonido	5,9±0,5 ^{Bb}	6,1±0,7 ^{Bb}	7,12±0,04 ^{Bc}
RW Presiones Reducidas	7,2±0,1 ^{Cc}	7,9±0,3 ^{Ce}	8,1±0,4 ^{Ce}

“Tabla de valores 4: Difusividades efectivas de los métodos RW estándar RW ultrasonido y RW presiones reducidas a diferentes temperaturas. Letras minúsculas diferentes (a, b, c, d, e, f) en la misma columna indican que hay diferencias significativas (valor p < 0,05) entre las temperaturas de secado. Diferentes letras mayúsculas (A, B, C) en la misma fila indican que hay diferencias significativas (valor p < 0,05) entre los tratamientos de secado estándar, control y *presiones reducidas* (A, B, C,)). ”

Si se hace una observación general de la tabla 4 se puede destacar que los 3 secados tienen una tendencia ascendente en relación a la difusividad a medida que la temperatura aumenta siendo un comportamiento normal según estudios (Khir, et al., 2011) (Andrés, et al., 2007) . Siendo el secado RW estándar el que presenta los dígitos más pequeños, a lo que podremos asociar al tiempo de deshidratación de este método ya que al ser, al menos en este estudio, el más extenso en comparación a los otros dos métodos con una difusividad mínima de 0.05 X 10⁻¹⁰ (m²s⁻¹) y una Max de 0.162 X 10⁻¹⁰ (m²s⁻¹) teniendo coherencia que su valor sean los más bajos.

Con respecto al secado RW con pretratamiento con ultrasonido se puede observar que al menos en promedio existe un aumento de la Difusividad. Según estudios (Khir, et al., 2011)

(Andrés, et al., 2007). Pero más suave siendo estadísticamente igual en las temperaturas de 60 y 70°C teniendo valores entre los $(5.9 \text{ a } 6.1) \times 10^{-10} \text{ (m}^2\text{s}^{-1})$ a lo que se podría inferir que el pretratamiento por ultrasonido no hizo efecto a estas temperaturas, esto se puede verificar si se observan las curvas comparativas del secado RW con pretratamiento por ultrasonido (grafico 5) ya que ambas curvas son bastante similares. Se recomendaría cambiar las condiciones ya sea aumentando el tiempo de pretratamiento o la potencia del baño de ultrasonido de este para obtener un resultado más significativo entre ambas temperaturas (60 y 70°C).

Al observar los valores de la Difusividad del RW asistido por presiones reducidas podemos inferir que existe un crecimiento de la Difusividad a medida que aumenta la temperatura observando valores de $7.2 \text{ a } 8.1 \times 10^{-10} \text{ (m}^2\text{s}^{-1})$ siendo este un comportamiento normal en el secado (Khir, et al., 2011) también se puede inferir o relacionar que debido a que sus valores son los más altos su tiempo de deshidratación son más bajos en comparación a los otros métodos de secado viéndose reflejados en los gráficos comparativos 1, 2, 3 en donde la deshidratación RW asistida por presiones reducidas son las que tienen un menor tiempo de deshidratación siendo este método más óptimo para deshidratar.

Al comparar con estudio de puré Physalis se obtuvieron rangos de difusividad efectiva entre los $2.74 \text{ a } 13.4 \times 10^{-10} \text{ (m}^2\text{s}^{-1})$, entre las temperaturas de 60°C a 90°C por lo que a excepción del RW estándar, existe concordancia entre ambos estudios (Puente-Díaz, et al., 2020). Una explicación a los valores bajos de RW estándar puede deberse a otros factores comparativos tal, como que Physalis tiene una gran cantidad de semillas en su interior a comparación de la cereza, que el estudio evaluó su cinética de secado a diferentes grosores de la película de Mylar entre otros.

Energía libre de Arrhenius (E_a)

Energía de Activación(kj/mol)	
Tratamiento	E_a (kJ/mol)
RW Estándar	57,02
RW pretratamiento por US	9,39
RW asistido por presiones reducidas	5.7

“Tabla 5: tabla de energía de activación (Kj/mol) de los procesos de secado por RW estándar, pretratamiento con US y asistido con presiones reducidas”

Se puede observar en la tabla 5 que el valor más alto es de 57.02 kJ/mol perteneciente al RW estándar (r^2 : 0.9988) seguido del RW pretratamiento por US 5.7 kJ/mol (r^2 : 0.9305) y finalmente de RW asistido por presiones reducidas con un valor de 9.1 kJ/mol (r^2 : 0.9967). Según estudios existe una relación entre la energía libre y la difusividad durante el proceso de secado en el cual si la energía libre es mayor, la dependencia de la difusividad es mayor a la temperatura (Delfiya et al., 2022). Al comparar estos resultados con las difusividades podemos inferir que existe coherencia con lo mencionado anteriormente dado que el método RW estándar, con un valor 57.02 kJ/mol, al comparar la energía de activación del experimento se encontró concordancia en estudios de deshidratación de pimientos rojos con un valor de 50.1 kJ/mol (Maskan, et al, 2002). Siendo este el método con el valor más alto de los tres, a lo que se relaciona con una difusividad que aumento de forma más considerable, triplicando el valor de la difusividad inicial (tabla 4) con una alta dependencia a la temperatura con respecto a los otros métodos.)

Con respecto al método RW con pretratamiento por ultrasonido observamos que tienen una energía libre bastante menor en comparación a método RW estándar indicando que la difusividad es mucho menos dependiente de la temperatura ya que al observar la tabla 3 el crecimiento de la difusividad es de apenas un 20% con respecto a la difusividad existiendo coherencia con los estudios (Delfiya et al., 2022). Al comparar el valores del experimento se

encuentra coherencia con los valores de la energía de activación, como secado del tomate $18,6 \text{ kJ mol}^{-1}$ (Fiorentini, et al, 2015) y uva con un valor 21.7 kJ/mol (di Scala, et al, 2008).

El valor de ultimo método que es RW asistido por presiones reducidas es el que presenta el menor valor con respecto a su energía libre (5.7 kJ/mol) siendo un la mitad del valor de estudios de secado convencional de uvas 10.5 kJ/mol (di Scala, et al, 2008). También otro estudio relacionado a la deshidratación de pulpa de Physalis a diferentes grosores de películas de Mylar, demostró que la aplicación de métodos asistidos reduce significativamente la energía de activación del método de secado E_a (RW Estándar): 31.1 kJ/mol y E_a (RW asistido por infrarrojo): 26.6 kJ/mol valor correspondiente al grosor de Mylar de 0.29 mm (Puente-Díaz, et al., 2020).

Se infiere que el método con la difusividad menos dependiente de los tres métodos de secado ya que según la tabla 4 su difusividad apenas tuvo un aumento del 12.5% con respecto a su difusividad inicial y también con respecto al grafico 6 en donde claramente se puede visualizar que el aumento de la temperatura solo disminuye levemente los tiempos de deshidratación agregando que según estudios, la integridad de los tejidos de la fruta se mantienen en estos métodos de deshidratación agregando que también la aplicación de vacío ayuda a la mantención de la estructura evitando la formación de una costra que impida la salida de agua hacia el exterior.

Color

a* Verde a Rojo		a ₀ =28 ± 2		
Tratamiento	Temperatura °C			
	60	70	80	
RW Estándar	34±1 ^{Aa}	35±3 ^{Ac}	30±1 ^{Abc}	
RW Ultrasonido	35±1 ^{Aa}	29±4 ^{ABbc}	31±1 ^{Ac}	
RW presiones reducidas	27±2 ^{Bbc}	27±3 ^{Bb}	27±5 ^{Bb}	

“Tabla de valores 6: valores “a” de las fotografías de pulpa deshidratada por los RW estándar, RW ultrasonido y RW presiones reducidas. Letras minúsculas diferentes (a, b, c) en la misma columna indican que hay diferencias significativas (valor $p < 0,05$) entre las temperaturas de secado. Diferentes letras mayúsculas (A, B, C) en la misma fila indican que hay diferencias significativas (valor $p < 0,05$) entre los tratamientos de secado estándar, control y presiones reducidas (A, B, C).”

Al observar la tabla 6 podremos observar que a bajas temperaturas en RW estándar y RW ultrasonido presentan un incremento de las tonalidades rojizas en comparación de la muestra fresca, mientras que el RW presiones reducidas mantiene su tonalidad. Infiriendo que la temperatura y tiempo aplicados genero una reacción enzimática parcial o menor (Luna, et al., 2016). Al aumentar la temperatura se observa que una leve disminución de las tonalidades rojizas en comparación al color obtenido del secado a 60°C teniendo un color significativamente igual al de la muestra seca.

Se infiere RW asistido por presiones reducidas no existen diferencias significativas en las tonalidades rojizas debido a los cortos tiempos de deshidratación manteniendo el color, teniendo coherencia ya que estudios similares representan valores similares a los obtenidos (a : 22.63 ± 1.36 ; secado de cereza por RW estándar; (Nemzer et al, 2018)). Entre otros estudios se observa un comportamiento similar pero en diferentes alimentos como el puré de fresa que presento un aumento de su tonalidad roja al deshidratarse a 95°C ($a_0: 27 \pm 1.7 - a_1: 29 \pm 0.7$) (Abonyi, et al., 2002) o jugo de granada $a_0: 31.3 \pm 0.3 - a_1: 32.6 \pm 0.3$ (Baeghbali, et al, 2016).

L* Luminosidad		L ₀ = 15 ± 2		
Tratamiento	Temperatura °C			
	60	70	80	
RW Estándar	12±1 ^{Aa}	12±2 ^{Aa}	16±1 ^{Ab}	
RW Ultrasonido	12±1 ^{aA}	16±3 ^{Aa}	18±2 ^{Ab}	
RW presiones reducidas	14±1 ^{Aa}	16±1 ^{Aa}	22±1 ^{Ac}	

“Tabla de valores 7: valores “a” de las fotografías de pulpa deshidratada por los RW estándar, RW ultrasonido y RW presiones reducidas. Letras minúsculas diferentes (a, b, c) en la misma columna indican que hay diferencias significativas (valor $p < 0,05$) entre las temperaturas de secado. Diferentes letras mayúsculas (A, B, C) en la misma fila indican que hay diferencias significativas (valor $p < 0,05$) entre los tratamientos de secado estándar, control y presiones reducidas o (A, B, C). ”

Se puede observar que con respecto en la tabla 7 la Luminosidad, a temperaturas de 60°C no existen diferencias significativas entre los métodos estándar y ultrasonido teniendo valores de luminosidad menores a la muestra fresca, mientras que el de presiones reducida las mantiene. A los 70°C existen diferencias entre los métodos siendo las muestras del RW estándar con un valor de menor de luminosidad con respecto a los otros dos métodos pero siendo significativamente igual a la muestra fresca. A los 80°C solo el valor de la luminosidad de RW estándar es similar a la muestra fresca, mientras que existen diferencias significativas entre dos de los métodos siendo estos RW asistidos por presiones reducidas y RW por ultrasonido teniendo valores de luminosidad más altos en todo el experimento. Al comparar estos resultados con otros estudios se pueden observar resultados bastantes diferentes por ejemplo (L: 5.37 ± 1 ; secado de cereza por RW estándar; (Nemzer et al, 2018)). Entre otros estudios se observa un comportamiento similar pero en diferentes alimentos como el puré de fresa que presento un aumento de su tonalidad roja al deshidratarse a 95°C (L₀: 45.3 ± 1.6 - L₁: 73.2 ± 0.5) (Abonyi, et al., 2002) o jugo de granada L₀: 31.7 ± 0.5 - L₁: 28.3 ± 0.5 (Baeghbali, et al, 2016).

b* Azul a Amarillo		b ₀ = -2 ± 1		
Tratamiento	Temperatura °C			
	60	70	80	
RW Estándar	1±1 ^{Aa}	1±1 ^{Aa}	-1±3 ^{Aa}	
RW Ultrasonido	-1±2 ^{Aa}	-1±1 ^{Aa}	0±1 ^{Aa}	
RW presiones reducidas	1±1 ^{Aa}	-2±1 ^{Aa}	-1±1 ^{Aa}	

“Tabla de valores 8: valores “a” de las fotografías de pulpa deshidratada por los RW estándar, RW ultrasonido y RW presiones reducidas. Letras minúsculas diferentes (a, b, c) en la misma columna indican que hay diferencias significativas (valor $p < 0,05$) entre las temperaturas de secado. Diferentes letras mayúsculas (A, B, C) en la misma fila indican que hay diferencias significativas (valor $p < 0,05$) entre los tratamientos de secado estándar, control y presiones reducidas (A, B, C). ”

Se puede observar que en la tabla 8 los valores “b” de los métodos son similares entre las temperaturas de 80°C infiriendo que los métodos no son significativamente diferentes entre sí. También se observa que a mayores temperaturas disminuye el valor siendo la muestra más azul, a lo que se podría asociar a una reacción de oxidación de los bioactivos del compuesto orgánicos de la muestra (Luna, et, al., 2016). Al compararlos con la muestra fresca se puede inferir que los métodos a excepción de RW estándar (60-70°C) y RW asistido por presiones reducidas (60°C) son significativamente iguales a la muestra fresca. Al comparar estos resultados con otros estudios se pueden observar resultados bastantes diferentes por ejemplo deshidratación de pulpa cerezas por diferentes métodos incluida la RW estándar (b) 28.1 ± 1.99 (Nemzer et al, 2018). Entre otros estudios se observa un comportamiento similar pero en diferentes alimentos como el puré de fresa que presento un aumento de su tonalidad roja al deshidratarse a 95°C ($L_0: 22.0 \pm 1.9 - L_1: 20.2 \pm 0.5$) (Abonyi, et al., 2002) o jugo de granada $L_0: 37.7 \pm 0.4 - L_1: 33.3 \pm 0.4$ (Baeghbali, et al, 2016).

ΔE^* Diferencia de Color			
Tratamiento	Temperatura °C		
	60	70	80
RW Estándar	7 ± 1^{Aa}	9 ± 1^{Aab}	3 ± 1^{Ac}
RW Ultrasonido	12 ± 3^{Bb}	10 ± 4^{Aab}	10 ± 4^{Bab}
RW presiones reducidas	10 ± 4^{Bab}	9 ± 3^{Aab}	9 ± 4^{Bab}

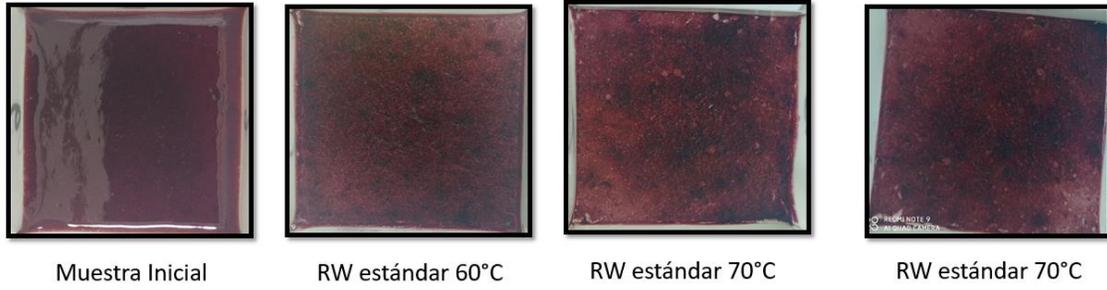
“Tabla de valores 9: valores “a” de las fotografías de pulpa deshidratada por los RW estándar, RW ultrasonido y RW presiones reducidas. Letras minúsculas diferentes (a, b, c) en la misma columna indican que hay diferencias significativas (valor $p < 0,05$) entre las temperaturas de secado. Diferentes letras mayúsculas (A, B, C, D)

Al observar la tabla 9 se puede observar que el método RW estándar de 80°C es la muestra que menos tubo cambios en su color con respecto a la muestra fresca (figura 37), seguida RW estándar 60°C. Con respecto a los demás valores se puede observar que no hay diferencias significativas en el color entre los métodos de RW asistido por presiones reducidas y por pretratamiento por ultrasonido a los que se podría asociar que en algunos estudios similares poseen un resultado más bajo 5.9 ± 1.3 (ΔE) (Nemzer et al, 2018) un valor similar al método RW estándar de 80°C al que según el mismo estudios tienen condiciones de secado similares.

Se puede inferir que también otros estudios por ejemplo el de la deshidratación de paprika se explica que si la muestra está expuesta a bajas concentraciones de oxígenos y calor tendrá una menor oxidación dada la desactivación de enzimas oxidativas (Topuz et al. 2009) también comprobado en un estudio de secado por RW estándar de Aronias (Samothicha et al., 2016). Por lo que se puede deducir que los métodos de RW asistido por presiones reducidas y RW con pretratamiento por ultrasonido a pesar de tener una diferencia de color similar a los estudios no hay una disminución del (ΔE) pero si un leve aumento o se mantiene cte como se puede observar en la tabla 10.

Comparacion de colores Lab (Teorico)				
Muestra Fresca	Tratamiento	Temperatura (°C)		
		60	70	80
	RW Estandar			
	RW Ultrasonido			
	RW Vacio			

“Tabla 10: tabla comparativa de los colores Lab teóricos de los métodos RW Estándar, RW Ultrasonido, RW presiones reducidas a las temperaturas 60°C, 70°C, 80°C”



“Figura 37: Fotos comparativas de pulpa de cereza fresca versus pulpa de cereza deshidratada por RW a 60°C, 70 °C, 80°C”

Capacidad Antioxidante (DPPH)

Temperatura	Tratamiento	Cap. Antioxidante (mg Ac. Ascórbico/L)
60	Estándar	244±11 ^{aA}
	Ultrasonido	237±6 ^{aA}
	Vacío	227±14 ^{aA}
70	Estándar	270±6 ^{Ab}
	Ultrasonido	266±9 ^{Ab}
	Vacío	273±3 ^{Abc}
80	Estándar	253±7 ^{Ab}
	Ultrasonido	266±8 ^{Abc}
	Vacío	257±11 ^{Ab}

“Tabla 11: Tabla de valores de la Cap. Antioxidantes expresado en mg Ac. Ascórbico/L de los métodos RW Estándar, RW Ultrasonido, RW presiones reducidas a las temperaturas 60°C, 70°C, 80°C. *Letras minúsculas diferentes (a,b, c) en la misma columna indican que hay diferencias significativas (valor $p < 0,05$) entre las temperaturas de secado. Diferentes letras mayúsculas (A, B, C)*”

Al observar la tabla 11 se puede observar que los métodos de deshidratación generalmente no tienen diferencias significativas a temperaturas de 80°C y 70°C siendo un promedio 260 (mg Ac. Ascórbico/L) indicando que la oxidación de los compuestos orgánicos es similar entre los métodos. Con respecto a los tratamientos a baja temperatura se observan valores más bajos con respecto a las demás temperaturas por lo que se puede inferir que a una temperatura menor el proceso de oxidación es menor a los que estaría relacionados con estudios que reflejan el mismo comportamiento con un valor de 244 ± 8.08 (Nemzer et, al., 2018).

Con respecto a los valores de las temperaturas superiores se puede observar que los altos valores se relacionan con las altas temperaturas de deshidratación que aunque se apliquen RW asistido por presiones reducidas no habrá diferencias entre deshidratarlo con el RW estándar. También se debe tomar en consideración que la medición de la capacidad antioxidante utilizando DPPH debe ser acompañado por otros tales como el FRAP, ABTS

para una mejor precisión de los valores ya que se considera que el DPPH es el más impreciso de los métodos mencionados anteriormente (Rumpf et.al.,2018), agregando que la temperatura de degradación de dichos compuestos siendo alrededor de los 70°C por lo que es un factor que se debe tener en cuenta (Luna, et, al., 2016).

También se debe destacar que existe una relación entre la difusividad efectiva con la concentración de bioactivos, se hizo un estudio de deshidratación de rizomas de Inula Racemosa que se observa que la concentración aumenta a medida que la difusividad efectiva va disminuyendo, por lo que en esta situación siendo el caso opuesto, altas difusividades generan una mayor pérdida de los bioactivos en el proceso de secado (Agnihotri, et, al.,2017).

Fenoles Totales

Temperatura	Tratamiento	Polifenoles (mg de GAE/ g cereza)
60	Estándar	546 ±30 ^{Aab}
	Ultrasonido	474±12 ^{Bab}
	Presiones Reducidas	567 ±7 ^{Aa}
70	Estándar	500 ±40 ^{Abc}
	Ultrasonido	454±8 ^{Ac}
	Presiones Reducidas	351±11 ^{Ad}
80	Estándar	350±16 ^{Ade}
	Ultrasonido	403±13 ^{Ad}
	Presiones Reducidas	322±31 ^{Ade}

“Tabla 12: Tabla de valores de Fenoles totales en mg de GAE/ g cereza de los métodos RW Estándar, RW Ultrasonido, RW asistido por presiones reducidas a las temperaturas 60°C, 70°C, 80°C. Letras minúsculas diferentes (a, b, c, d, e, f, g) en la misma columna indican que hay diferencias significativas (valor p < 0,05) entre las temperaturas de secado. Diferentes letras mayúsculas (A, B, C, D, E, F, G, H)”

Al observar la tabla de valores 12 se puede observar que los polifenoles se conservan mejor en secados a menor temperatura (60°C) siendo los más destacables los secado RW asistido por presiones reducidas y RW estándar con un valor de 567 ± 7 y 546 ± 30 (mg de GAE/g de cereza). También se puede inferir que el pretratamiento por ultrasonido no fue efectivo a esta temperatura obteniendo una mayor degradación de los polifenoles a lo que se podría atribuir a que las condiciones de pretratamientos no fueron las apropiadas, ya que según un estudio, la aplicación del ultrasonido con respeto a la conservación de polifenoles debería tener una mayor conservación en comparación a no haberla aplicado (Salehi, 2023). Aunque este fenómeno solo se mantiene en las condiciones dichas anteriormente ya que se observa que a mayores temperaturas los efectos del pretratamientos se hacen más efectivos en comparación a los RW asistido por presiones reducidas y RW estándar.

Con respecto a los valores de los métodos a temperaturas de 70°C y 80°C se puede observar una mayor degradación de los polifenoles destacando que la aplicación de presiones reducidas obtuvo resultados más bajos a la temperatura más alta, algo que no tiene relación con estudios similares en donde la aplicación de un sistema de baja presión permitirá una menor degradación de los compuestos orgánicos termo sensibles evitando su degradación (Ricardo L, et al, 2020). Se puede inferir que las condiciones RW asistido por presiones reducidas no son las ideales al deshidratar a temperaturas mayores de 80°C siendo la más óptima temperatura bajo los 70 ° C, que es respaldado por un estudio que concluyo que una deshidratación sobre los 75°C a un pH: 4 produciría una degradación más agresiva de los polifenoles (Luna, et, al., 2016).

También se debe destacar que existe una relación entre la difusividad efectiva con la concentración de bioactivos, se hizo un estudio de deshidratación de rizomas de *Inula Racemosa* que se observa que la concentración aumenta a medida que la difusividad efectiva va disminuyendo, por lo que en esta situación siendo el caso opuesto, altas difusividades generan una mayor pérdida de los bioactivos en el proceso de secado (Agnihotri, et, al.,2017).

Antocianinas

Temperatura (°C)	Tratamiento	Antocianinas (mg de Catequina/g cereza)
60	RW Estándar	97 ±2 ^{Aa}
	RW Ultrasonido	82±1 ^{Bb}
	RW Vacío	123±3 ^{Cc}
70	RW Estándar	112±4 ^{Dd}
	RW Ultrasonido	99 ±2 ^{Ea}
	RW Vacío	68 ±2 ^{Ff}
80	RW Estándar	86 ±4 ^{Gb}
	RW Ultrasonido	82±2 ^{Gb}
	RW Vacío	49±2 ^{Hg}

“Tabla 13: Tabla de valores de Fenoles totales en mg de GAE/ g cereza de los métodos RW Estándar, RW Ultrasonido, RW presiones reducidas a las temperaturas 60°C, 70°C, 80°C. Letras minúsculas diferentes (a,b, c, d, e, f, g) en la misma columna indican que hay diferencias significativas (valor p < 0,05) entre las temperaturas de secado. Diferentes letras mayúsculas (A, B, C, D, E, F, G, H)”

Al observar la tabla 13 se puede inferir que los valores relacionados a RW asistido por presiones reducidas presenta el valor más alto a una temperatura de 60°C siendo 123 ±3 (mg de Catequina/g cereza) indicando una buena conservación del compuesto pero, a medida que se aumenta la temperatura la degradación es mayor, siendo una degradación de 44% y 61% de su valor más alto a temperaturas de 70°C y 80°C respectivamente. A lo que se podría inferir que aunque el tiempo de secado sea menor en comparación a los otros métodos la aplicación de presiones reducidas no genero una conservación efectiva sino más bien una mayor degradación de los compuestos. Esto se podría explicar a estudios que indican la temperatura de degradación de dichos compuestos siendo alrededor de los 70°C (Luna, et, al., 2016) o el método de pH diferencial. Por lo que en base a los resultados este método sería recomendable utilizar a temperaturas inferiores a 70°C.

Al visualizar los resultados de RW por ultrasonido se observa que sigue un comportamiento promedio en comparación de los otros dos manteniéndose un valor similar al RW Estándar

o menor que se ha observado en estudios que explica un comportamiento similar o mayor en la pérdida de antocianinas en cerezas (Siucińska et al., 2016) esto debido a que por la acción de la cavitación, esta provoca que los compuestos se extraigan con mayor facilidad de las células durante el proceso de secado estando más en contacto con el calor (Golmohamadi et al., 2013), (Keenan et al., 2012).

También se debe destacar que existe una relación entre la difusividad efectiva con la concentración de bioactivos, se hizo un estudio de deshidratación de rizomas de *Inula Racemosa* que se observa que la concentración aumenta a medida que la difusividad efectiva va disminuyendo, por lo que en esta situación siendo el caso opuesto, altas difusividades generan una mayor pérdida de los bioactivos en el proceso de secado (Agnihotri, et, al.,2017).

Modelamiento Matemáticos

Con los registros del MR de la curva de secado, se utilizó el programa informático SciDAVis para modelar la cinética de secado de los diferentes métodos de deshidratación empleados en este experimento, aplicando los modelos matemáticos mencionados en la tabla 3, el programa calculo el valor de las constantes relacionadas a cada modelo y se realizaron los cálculos estadísticos correspondientes para determinar si las constantes dependen o no de la temperatura de trabajo.

Con los modelos ya obtenidos, se simulo una curva teórica de cada modelo a las diferentes temperaturas para obtener valores MR teóricos con la finalidad de obtener la suma de cuadrados decimales (SSE) y error cuadrático medio (RMSE) ya que estos parámetros junto con el R^2 y X^2 indican que grado de ajuste entre la curva teórica obtenida mediante el modelo y los valores reales de MR de los experimento de secado.

Los valores MR de las curvas de secado fueron analizados y modelados cinéticamente cuyos valores se pueden observar en la siguiente tabla:

Modelo	Parametro	Tratamientos								
		Estandar			Ultrasonido			Vacío		
		60	70	80	60	70	80	60	70	80
Henderson Pabis	a	1,0553 ± 6,0e-4 ^{1A}	1,094 ± 1,0e-3 ^{1A}	0,1031 ± 2,0e-4 ^{1A}	1,0724 ± 9,0e-4 ^{1B}	1,0562 ± 7,0e-4 ^{1A}	1,084 ± 1,0e-3 ^{1A}	1,0613 ± 9,0e-4 ^{1C}	1,0727 ± 8,0e-4 ^{1B}	1,0923 ± 1,0e-3 ^{1C}
	k	0,04699 ± 5,3e-5 ^{1A}	0,0748 ± 1,7e-4 ^{1A}	1,069 ± 1,2e-3 ^{1A}	0,06802 ± 9,6e-5 ^{1B}	0,07519 ± 8,0e-5 ^{1A}	0,1238 ± 2,0e-4 ^{1C}	0,0884 ± 1,2e-4 ^{1B}	0,112 ± 1,4e-4 ^{1C}	0,1031 ± 2,1e-4 ^{1A}
	χ²	0,03631	0,07824	0,05495	0,04665	0,03586	0,04691	0,04235	0,03855	0,06471
	R²	0,99679	0,99077	0,99105	0,99468	0,99541	0,9913	0,99385	0,99328	0,98992
	SSE	0,05764	0,08351	0,06315	0,06344	0,08900	0,47550	0,06457	0,04222	0,07009
	RMSE	0,04360	0,05323	0,04662	0,04668	0,05163	0,09984	0,04702	0,03807	0,04901
Page	k	0,01974 ± 2,0e-5 ^{1A}	0,01996 ± 3,2e-5 ^{1A}	0,058 ± 3,5e-4 ^{1C}	0,02552 ± 3,1e-05 ^{1C}	0,03584 ± 5,0e-5 ^{1C}	0,05161 ± 9,9e5 ^{1C}	0,04033 ± 7,1e-5 ^{1A}	0,05055 ± 5,1e-5 ^{1C}	0,03478 ± 7,8e-5 ^{1C}
	y	1,2725 ± 3,4e-4 ^{1A}	1,4584 ± 5,9e-4 ^{1A}	1,212 ± 2,4e-3 ^{1C}	1,3326 ± 4,4e-4 ^{1B}	1,2577 ± 5,3e-4 ^{1B}	1,3492 ± 8,3e-4 ^{1C}	1,2857 ± 6,9e-4 ^{1B}	1,3063 ± 4,2e-4 ^{1B}	1,4099 ± 9,1e-4 ^{1B}
	χ²	0,00661	0,00959	0,04728	0,00788	0,00989	0,013304	0,01239	0,00745	0,01505
	R²	0,99941	0,99889	0,9923	0,9991	0,99874	0,99753	0,9982	0,9987	0,99766
	SSE	0,02900	0,01464	0,03058	0,02392	0,06321	0,47999	0,02241	0,01122	0,02099
	RMSE	0,03031	0,02239	0,03246	0,02829	0,04110	0,09032	0,02722	0,01962	0,02681
Page Modificado	k	0,207 ± 4,2e-3 ^{1A}	0,225 ± 1,0e-3 ^{1A}	0,327 ± 8,0e-4 ^{1C}	0,2314 ± 8,1e-4 ^{1A}	0,193 ± 5,0e-4 ^{1B}	0,3799 ± 9,4e-4 ^{1C}	0,2829 ± 7,0e-4 ^{1B}	0,3164 ± 1,0e-4 ^{1C}	0,29516 ± 1,1e-5 ^{1A}
	n	0,2099 ± 5,2e-4 ^{1C}	0,3007 ± 4,0e-4 ^{1A}	0,2936 ± 8,0e-4 ^{1A}	0,2703 ± 4,1e-4 ^{1B}	0,3659 ± 5,0e-4 ^{1C}	0,301 ± 7,3e-4 ^{1B}	0,2932 ± 8,0e-4 ^{1A}	0,330 ± 1,2e-3 ^{1B}	0,31927 ± 1,0e-5 ^{1C}
	χ²	0,05151	0,11267	0,06882	0,06751	0,04752	0,06593	0,05484	0,05367	0,09076
	R²	0,99544	0,98671	0,98879	0,9923	0,99392	0,98776	0,99204	0,99064	0,98586
	SSE	0,07260	0,11848	0,08478	0,08448	0,10230	0,48414	0,08513	0,05701	0,09625
	RMSE	0,04948	0,06336	0,05402	0,05388	0,05610	0,10427	0,05403	0,04418	0,05743
Midilli-Kucuk	a	0,8 ± 2,2e-1 ^{1A}	0,9616 ± 1,33e-4 ^{1A}	0,9897 ± 1,9e-4 ^{1A}	0,9649 ± 1,1e-4 ^{1A}	0,9609 ± 1,6e-4 ^{1A}	0,9726 ± 1,5e-4 ^{1A}	0,9551 ± 1,4e-4 ^{1A}	0,9681 ± 1,2e-4 ^{1A}	0,9617 ± 1,8e-4 ^{1A}
	b	(-10,013 ± 2,0e-3 ^{1A})	0,000006 ± 2,4e-6 ^{1A-B-C}	0,002032 ± 2,6e-6 ^{1C}	0,000415 ± 2,0e-4 ^{1A-B-C}	0,000364 ± 2,8e-6 ^{1A-B-C}	0,000814 ± 1,9e-6 ^{1A-B-C}	0,000708 ± 2,1e-6 ^{1A-B-C}	0,000392 ± 1,7e-6 ^{1A-B-C}	0,00076 ± 2,6e-6 ^{1A-B-C}
	k	0,00008 ± 2,7e-5 ^{1A}	0,01381 ± 2,4e-5 ^{1A}	0,04154 ± 7,1e-5 ^{1A}	0,01773 ± 2,3e-5 ^{1A}	0,02511 ± 4,5e-5 ^{1A}	0,03937 ± 5,32e-5 ^{1A}	0,02629 ± 3,8e-5 ^{1A}	0,03922 ± 4,5e-5 ^{1A}	0,02354 ± 5,3e-5 ^{1A}
	y	(-10,475 ± 3,0e-3 ^{1A})	1,5771 ± 6,3e-4 ^{1A}	1,3897 ± 6,6e-4 ^{1C}	1,4581 ± 4,6e-4 ^{1B}	1,3806 ± 6,3e-4 ^{1C}	1,4697 ± 5,5e-4 ^{1B}	1,4469 ± 5,3e-4 ^{1C}	1,4051 ± 4,7e-4 ^{1A}	1,5854 ± 7,7e-4 ^{1B}
	χ²	1,39753	0,0058	0,0069	0,00445	0,00642	0,00526	0,00525	0,0045	0,00712
	R²	0,87642	0,99932	0,99888	0,99949	0,99918	0,99902	0,99924	0,99922	0,99889
SSE	0,07260	0,01098	0,04579	0,02065	0,06003	0,47195	0,02134	0,00775	0,01200	
RMSE	0,04948	0,01933	0,03973	0,02598	0,03899	0,08556	0,02644	0,01628	0,02025	
Midilli Modificado	a	0,99462 ± 3,6e-5 ^{1C}	0,97 ± 1,1e-3 ^{1B}	0,831 ± 5,0e-3 ^{1A}	0,9656 ± 6,8e-4 ^{1B}	0,928 ± 1,1e-3 ^{1C}	0,796 ± 6,0e-3 ^{1B}	0,89 ± 2,3e-3 ^{1B}	0,827 ± 4,3e-3 ^{1A}	0,871 ± 3,9e-3 ^{1C}
	b	0,051361 ± 4,6e-6 ^{1B}	0,0652 ± 1,2e-4 ^{1C}	0,0607 ± 5,6e-4 ^{1A}	0,06239 ± 7,9e-5 ^{1A-B-C}	0,0623 ± 1,2e-4 ^{1A-B-C}	0,0618 ± 6,6e-4 ^{1A-B}	0,0634 ± 2,5e-4 ^{1B}	0,063 ± 4,7e-4 ^{1C-A}	0,0653 ± 4,3e-4 ^{1C}
	n	(-1) 0,018989 ± 1,4e-6 ^{1B}	(-10,02369 ± 2,5e-5 ^{1C})	(-10,0258 ± 1,1e-4 ^{1B})	(-1) 0,018989 ± 1,4e-6 ^{1B}	(-10,02369 ± 2,5e-5 ^{1C})	(-10,0258 ± 1,1e-4 ^{1B})	(-1) 0,018989 ± 1,4e-6 ^{1B}	(-10,02369 ± 2,5e-5 ^{1C})	(-10,0258 ± 1,1e-4 ^{1B})
	χ²	0,00252	0,0754	0,3576	0,04867	0,07723	0,42931	0,16129	0,30539	0,27776
	R²	0,99978	0,9911	0,94177	0,99445	0,99012	0,92034	0,97658	0,9468	0,95672
	SSE	0,02542	0,05987	0,08478	0,06551	0,12377	0,68223	0,15909	0,31002	0,28632
RMSE	0,02865	0,04539	0,05402	0,04735	0,06510	0,14996	0,07344	0,10328	0,09930	
Weibull	k	0,522 ± 2,e-3 ^{1A}	1,5173 ± 6,0e-4 ^{1A}	0,25771 ± 2,1e-5 ^{1C}	3,8995 ± 2,0e-4 ^{1B}	0,6288 ± 4,0e-4 ^{1C}	1,659 ± 9,0e-3 ^{1B}	1,178 ± 5,0e-4 ^{1C}	0,6738 ± 8,0e-4 ^{1A}	4,1955 ± 5,0e-4 ^{1B}
	y	12 ± 2,0 ^{1A-B}	22 ± 1,0 ^{1B}	2,69 ± 5,0e-2 ^{1A}	62 ± 12,0 ^{1B}	8,9 ± 0,7 ^{1A-B}	14 ± 1,2 ^{1A-B}	14 ± 2 ^{1A-B}	6,5 ± 0,5 ^{1A}	44 ± 8 ^{1C}
	χ²	0,05151	0,11267	0,06882	0,06751	0,04752	0,06593	0,05484	0,05367	0,09076
	R²	0,99544	0,98671	0,98879	0,9923	0,99392	0,98777	0,99204	0,99064	0,98586
	SSE	0,08425	0,09512	0,06997	0,06732	0,07972	0,27931	0,09662	0,07034	0,09816
	RMSE	0,05390	0,05727	0,04912	0,04818	0,05243	0,09814	0,05772	0,04925	0,05818

“Tabla de valores 14 que representa el valor de las constantes de los modelos matemáticos junto con los valores R², X², suma de cuadrados decimales (SSE) y error cuadrático medio (RMSE.). Letras minúsculas diferentes (a,b, c, d,e, f, g, h ,h,i) en la misma columna indican que hay diferencias significativas (valor p < 0,05) entre las temperaturas de secado. Diferentes letras mayúsculas (A, B, C, D, E, F, G, H, I)”

Al observar la tabla 14 se realizó una comparación de los diferentes modelos mediante los parámetros R², X², suma de cuadrados decimales (SSE) y error cuadrático medio (RMSE) tomando ese mismo orden de importancia descrito, indicando que el modelo más expresa el comportamiento del secado cinético en este experimento es el modelo de Midilli-Kucuk (ANEXO 13).

Con respecto a las constante “b” se observa un comportamiento anormal, ya que solo en las condiciones RW estándar a 60°C y 80°C son significativamente diferentes a los otros métodos y temperaturas, a lo que se infiere que a estas condiciones son dependientes de la temperatura, mientras que a otras condiciones los valores no tienen diferencias significativas. Finalmente la última constante “y” representa diferencias significativas en las diferentes condiciones y temperaturas a lo que se puede inferir que existe una dependencia a están condiciones anteriormente mencionadas.

	Método	Temperatura	Parámetro			
			a	b	k	y
Midilli-Kucuk	RW Estándar	60	0,8 ± 2,2e-1 ^{Aa}	(-)0,013 ± 2,0e-3 ^{Aa}	0,00008 ± 2,7e-5 ^{Aa}	(-)0,475 ± 3,0e-3 ^{Aa}
		70	0,9616 ± 1,33e-4 ^{Aa}	0,000006 ± 2,4e-6 ^{bcBC}	0,01381 ± 2,4e-5 ^{Aa}	1,5771 ± 6,3e-4 ^{Bb}
		80	0,9897 ± 1,9e-4 ^{Aa}	0,002032 ± 2,6e-6 ^{Cc}	0,04154 ± 7,1e-5 ^{Aa}	1,3897 ± 6,6e-4 ^{Cc}
	RW Ultrasonido	60	0,9649 ± 1,1e-4 ^{Aa}	0,000415 ± 2,0e-4 ^{bcBC}	0,01773 ± 2,3e-5 ^{Aa}	1,4581 ± 4,6e-4 ^{Dd}
		70	0,9609 ± 1,6e-4 ^{Aa}	0,000364 ± 2,8e-6 ^{bcBC}	0,02511 ± 4,5e-5 ^{Aa}	1,3806 ± 6,3e-4 ^{Ee}
		80	0,9726 ± 1,5e-4 ^{Aa}	0,000814 ± 1,9e-6 ^{bcBC}	0,03937 ± 5,32e-5 ^{Aa}	1,4697 ± 5,5e-4 ^{Ff}
	RW Vacío	60	0,9551 ± 1,4e-4 ^{Aa}	0,000708 ± 2,1e-6 ^{bcBC}	0,02629 ± 3,8e-5 ^{Aa}	1,4469 ± 5,3e-4 ^{Gg}
		70	0,9681 ± 1,2e-4 ^{Aa}	0,000392 ± 1,7e-6 ^{bcBC}	0,03922 ± 4,5e-5 ^{Aa}	1,4051 ± 4,4e-4 ^{Hh}
		80	0,9617 ± 1,8e-4 ^{Aa}	0,00076 ± 2,6 e-6 ^{bcBC}	0,02354 ± 5,3e-5 ^{Aa}	1,5654 ± 7,7e-4 ^{Ii}

“Tabla de valores 15 de las constantes relacionadas al modelos Midilli-Kucuk (a;b;k;y). Letras minúsculas diferentes (a, b, c, d,e, f, g, h ,h,i) en la misma columna indican que hay diferencias significativas (valor p < 0,05) entre las temperaturas de secado. Diferentes letras mayúsculas (A, B, C, D, E, F, G, H, I)”

Al comparar el resultado de la tabla 15 con otros estudios similares se encuentra concordancia en los resultados cinéticos ya que el modelo de Midilli-Kucuk fue el más ajusto en la deshidratación de semillas de calabaza con cascara (Ortiz-Jerez et, al., 2022) semillas de girasol (Smaniotto et al., 2017). Agregando otros estudios que indican que este tipo de secado tiene un comportamiento cinético similar a los modelos Logarítmico, Page, y Midilli.

Existiendo concordancia entre los resultados ya que el segundo modelo matemático que mejor ajustan es el Page y Medilli modificado respectivamente (Sacilik, 2017).

CONCLUSION

Se logró aplicar en la deshidratación por ventana de refractancia (RW) la asistencia por presiones reducidas y ultrasonido permitiendo una deshidratación de la pulpa de cereza para analizar sus parámetros de calidad y cinética de secado.

Se demostró que la cinética de secado de los métodos de deshidratación tiene un comportamiento convexo decreciente, algo totalmente común en este tipo de deshidratación. Se destaca que al comparar los tratamientos existen diferencias significativas a temperaturas más bajas (60°C) existiendo una diferencia de más de 30 min entre el control y el secado a presiones reducidas, mientras que el ultrasonido posee una diferencia de 15 min aprox. La deshidratación a presiones reducidas un método óptimo que redujo el tiempo un aproximado del 50% en comparación con el estándar.

Los valores de las difusividades efectivas de los métodos de secado están dentro de los rangos estipulados por otros estudios, siendo el método de RW asistido por presiones reducidas y pretratamientos por ultrasonido los que tienen mayor coherencia con estudios de un fruto similar y condiciones similares (*Physalis*). Se debe destacar que la aplicación de RW asistido por presiones reducidas (7.2 a $8.1 \times 10^{-10} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$) es el método que tiene la difusividad menos dependiente de la temperatura desde los 60°C a 80°C en comparación con el RW estándar (0.05 a $0.162 \times 10^{-10} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$) y RW con pretratamiento por ultrasonido (5.9 a $6.1 \times 10^{-10} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$) respectivamente.

La energía de activación presento valores dentro de los rangos de otros estudios aunque se observó que la aplicación de las presiones reducidas disminuye notablemente la energía de activación. Esto está relacionado, según estudios bibliográficos, a que se mantiene más íntegra la estructura del tejido y también a la poca dependencia que tiene el método de la temperatura.

Al analizar los parámetros de color se observó que una deshidratación a bajas temperatura aumenta la tonalidad rojiza de la pulpa de cereza que va decayendo significativamente a

medida que la temperatura aumenta, a excepción de RW asistido por presiones reducidas, que mantiene su tonalidad rojiza. La Luminosidad de la pulpa aumenta a medida que aumenta la temperatura, y se mantienen sus tonalidades azules características en todas las temperaturas evaluadas.

Al comparar los parámetros de calidad relacionados a los biocompuestos, se concluye que es más efectiva la aplicación de RW asistidos por presiones reducidas a temperaturas bajas o menores de 70°C, ya que conserva mejor estos biocompuestos. Igualmente, al comparar la cinética de secado este método es más destacado debido a su bajo tiempo de deshidratación a bajas temperatura siendo más de un 50% más rápido que el método estándar.

Se concluye que el modelo Midilli-Kucuk es el que mejor ajusta con respecto al comportamiento cinético de los secados en este experimento, ya que, tiene el valor R^2 más alto y X^2 , SSE y RMSE más bajos en comparación con los otros modelos, este resultado tiene concordancia con otros estudios realizados con otros productos deshidratados por RW.

BIBLIOGRAFÍA

1. Abonyi et al., 2002 B.I. Abonyi, H. Feng, J. Tang, C.G. Edwards, B.P. Chew, D.S. Mattinson, et al. Quality retention in strawberry and carrot purees dried with refractance window™ system *Journal of Food Science*, 67 (3) (2002), pp. 1051-1056.
2. Aldana Pérez, C. D., & Guayasamín Pérez, L. E. (2014). Evaluación de la actividad antioxidante de los extractos (alcohólico y acuoso) de las hojas de ficus citrifolia y caracterización química de los polifenoles. (Tesis Pregrado). Politécnica Salesiana, Quito - Ecuador. Recuperado el 20 de Enero del 2018 de <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/6011>
3. Agnihotri, V., Jantwal, A., & Joshi, R. (2017). Determination of effective moisture diffusivity, energy consumption and active ingredient concentration variation in *Inula racemosa* rhizomes during drying. *Industrial Crops and Products*, 106, 40–47. <https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2016.09.068>
- 4.
5. Alkanan, Z. T., Al-Hilphy, A. R. S., Altemimi, A. B., Mandal, R., & Pratap-Singh, A. (2021). Comparison of quality characteristics of tomato paste produced under ohmic-vacuum combination heating and conventional heating. *Applied Food Research*, 1(2), 100014. <https://doi.org/10.1016/J.AFRES.2021.100014>
6. Ames B, Schigenaga M, and Hagen T. 1993. Oxidants, antioxidants and the degenerative disease of aging. *Proc Natl Acad Scie* 90: 7915-7922.
7. An innovative hybrid-solar-vacuum dryer to produce high-quality dried fruits and vegetables, *LWT*, Volume 140,2021
8. Andrés, A.; Fito, P.; Heredia, A.; Rosa, E.M. Combined drying technologies for development of high-quality shelf-stable mango products. *Dry Technol.* 2007, 25, 1857–1866.
9. Abonyi, B. I., Feng, H., Tang, J., Edwards, C. G., Chew, B. P., Mattinson, D. S., & Fellman, J. K. (2002). Quality Retention in Strawberry and Carrot Purees Dried with Refractance Window™ System. *Journal of Food Science*, 67(3), 1051–1056. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2621.2002.TB09452.X>
10. Arribillaga, D. 2013. Manejo de pre y post cosecha del cultivo del cerezo (*Prunus avium* L.) en Chile Chico, región de Aysén. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Chile, Boletín INIA n° 265. Obtenido de INIA Sitio web: biblioteca, inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR39022.PDF
11. Azizi, D.; Jafari, S.M.; Mirzaei, H.; Dehnad, D. The influence of refractance window drying on qualitative properties of kiwifruit slices. *Int. J. Food Eng.* 2016, 13, 20160201.
12. Baeghbali , M. Niakousari , A. Farahnaky Refractancia Secado de ventana de jugo de granada: retención de calidad y eficiencia energética *LWT - Ciencia y tecnología de los alimentos* , 66 (2016) , págs. 34 - 40

13. Baslar, M., Klichi, M& Yalinkilic, B (2015). Dehydration kinetics of Salmon and trout fillets using ultrasonic vacuum drying as a novel technique. *Ultrasonics Sonochemistry*, 27, 495-502.
14. BI Abonyi , H. Feng , CG Tang , BP Edwards , DS Mattinson , JK Fellman
BI Abonyi , H. Feng , J. Tang , CG Edwards , BP Chew , DS Mattinson , JK Fellman Retención de calidad en purés de fresa y zanahoria secados con el sistema Refractance Window TM *Journal of Food Science* , 67 (2002) , pp. 1051 – 1056
15. Blando F and Oomah B. 2019. Sweet and sour cherries: Origin, distribution, nutritional composition and health benefits. *Trends in Food Science & Technology* 86: 517–529.
16. C. Nindo , T. Sun , S. Wang , J. Tang , J. Powers Evaluación de tecnologías de secado para retención de calidad física y antioxidantes en espárragos (*Asparagus officinalis* , L.)
17. C. Ramírez , E. Troncoso , J. Muñoz , JM Aguilera Análisis de microestructura en rodajas de manzana pretratadas y su efecto sobre la liberación de agua durante el secado al aire. *Journal of Food Engineering* , 106 (3) (2011) , págs. 253 - 261
18. Candan, P. 2006. Cosecha y postcosecha de cerezas. *Revista Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Río Negro, Argentina*, 32-38 p
19. Candan, P. 2006. Cosecha y postcosecha de cerezas. *Revista Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Río Negro, Argentina*, 32-38 p.
20. Chan, T. C., Li, H. T., & Li, K. Y. (2015). *Effects of Shapes of Solute Molecules on Diffusion: A Study of Dependences on Solute Size, Solvent, and Temperature*. <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.5b10550>
21. Chiang, A., Schnettler, B., Mora, M and Aguilera, M. 2018. Perceived quality of and satisfaction from sweet cherries (*Prunus avium* L) in China: Confirming relationships through structural equations. *Ciencia e investigación agraria*, 211-219 p.
22. CI Nindo , J. Tang Tecnología de deshidratación de ventana de refractancia: un nuevo método de secado por contacto *Drying Technology* , 25 (2007) , págs. 37 - 48
23. CI Nindo , T. Sun , SW Wang , J. Tang , JR Powers Evaluación de tecnologías de secado para retención de calidad física y antioxidantes en espárragos (*Asparagus officinalis* , L.) *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie* , 36 (2003) , págs. 507 - 516
24. CI Ochoa-Martínez , PT Quintero , AA Ayala , MJ Ortiz Características de secado de las rodajas de mango mediante la técnica Refractance Window TM *Journal of Food Engineering* , 109 (2012) , págs. 69 - 75
25. Ciro, H., Buitrago, O. y Pérez, S. 2006. Estudio preliminar de la resistencia mecánica a la fractura y fuerza de firmeza para fruta de Uchuva (*Physalis peruviana* L.) *Revista Facultad nacional de Agronomía Medellín*,3786-3796 p.
26. COPEFRUT, Visión general de los daños de la calidad mas importantes en las cerezas. *Revista frutícola*, VOL 42, N°, 2020.
27. Costaa, A., & Pereirab, H. (2013). Drying kinetics of cork planks in a cork pile in the field. *Food and Bioproducts Processing*, 91(1), 14–22.

28. Delfiya, D. S. A., Prashob, K., Murali, S., Alfiya, P. V., Samuel, M. P., & Pandiselvam, R. (2022). Drying kinetics of food materials in infrared radiation drying: A review. *Journal of Food Process Engineering*, 45(6), e13810.
29. di Scala, K., & Crapiste, G. (2008). Drying kinetics and quality changes during drying of red pepper. *LWT - Food Science and Technology*, 41(5), 789–795. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2007.06.007>
30. Diego Gamboa, Secado de lúcuma (*Pouteria obovata*) empleando la técnica de Ventana Refractante™, Escuela de ing. Agroindustrial, facultad de ciencias agropecuarias, 2014. Dupont, Ficha técnica película Mylar, 2019.
31. E.-M. Jafari , D. Azizi , H. Mirzaei , D. Dehnad Comparación de las características de calidad de los kiwis secados al horno y los kiwis secados en ventana por refractancia *Journal of Food Processing and Preservation* , 40 (2016) , págs. 362 - 372
32. EAA Elhussein , S. Şahin Comportamiento de secado, difusividad efectiva y energía de activación de las hojas de olivo secadas por microondas, vacío y métodos de secado en horno. *Transf. De masa de calor* , 54 (7) (2018) , pp. 1 901 - 1911
33. Erhan Horuz, Hüseyin Bozkurt, Haluk Karataş, Medeni Maskan, Effects of hybrid (microwave-convectonal) and convectonal drying on drying kinetics, total phenolics, antioxidant capacity, vitamin C, color and rehydration capacity of sour cherries, *Food Chemistry*, Volume 230,2017, Pages 295-305,
34. FAOSTAT (2019) FAO database. <http://faostat.fao.org>
35. Ferretti G, Bacchetti T, Belleggia A y Neri D. 2010. Cherry Antioxidants: From Farm to Table. *Molecules* 15: 6993-7005. Tomás-Barberán F, Gil M, Cremin P, Waterhouse A, Hess-Pierce B and Kader A. 2001. HPLC-DAD-ESIMS analysis of phenolic compounds in nectarines, peaches and plums. *J Agric Food Chem.* 49: 4748-4760.
36. Fiorentini, C., Demarchi, S. M., Quintero Ruiz, N. A., Torrez Irigoyen, R. M., & Giner, S. A. (2015). Arrhenius activation energy for water diffusion during drying of tomato leathers: The concept of characteristic product temperature. *Biosystems Engineering*, 132, 39–46. <https://doi.org/10.1016/J.BIOSYSTEMSENG.2015.02.004>
37. Flores, C. 2017. Uso del cobertor antipartidura sobre calidad y condición de la fruta y fisiología de cerezos (*Prunus avium* L.) cultivares Bing y Regina. 26 p. Ingeniero Agrónomo. Universidad de Talca, Talca, Chile.
38. Gacitúa V., Jorge (Junio 2019) *Deshidratado convectivo vs Microondas al vacío* [en línea]. Santiago: IMPRESUR Chile. Revista Campo & Tecnología.
39. Gao. L y Mazza G. 1995. Characterization, Quantitation, and Distribution of Anthocyanins and Colorless Phenolics in Sweet Cherries. *Agric Food Chem.* 43: 343-346.
40. García, E., Fernández, I., & Fuentes, A. (2015). Determinación de polifenoles totales por el método de Folin-Ciocalteu (Tesis Pregrado). Universidad Politécnica de València. Recuperado el 20 de febrero del 2018 de <https://riunet.upv.es/handle/10251/52056>

41. García-Pérez, J. v., Carcel, J. A., Mulet, A., Riera, E., Andrés, R. R., & Gallego-Juárez, J. A. (2023). Ultrasonic drying for food preservation. *Power Ultrasonics: Applications of High-Intensity Ultrasound, Second Edition*, 743–771. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820254-8.00027-0>
42. Golmohamadi, A., Möller, G., Powers, J., & Nindo, C. (2013). Effect of ultrasound frequency on antioxidant activity, total phenolic and anthocyanin content of red raspberry puree. *Ultrasonics Sonochemistry*, 20(5), 1316–1323. <https://doi.org/10.1016/J.ULTSONCH.2013.01.020>
43. Hayaloglu, A.A., Karabulut, I., Alpaslan, M., & Kelbaliyev, G. (2007). Mathematical modeling of drying characteristics of strained yogurt in a convective type tray-dryer. *Journal of Food Engineering*, 78(1), 109–117.
44. Henderson, S.M., & Pabis, S. (1961). Grain drying theory. I. Temperature effect on drying coefficient. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 6(3), 169–174.
45. Horvitz, Sandra; Yommi, Alejandra; López Camelo, Andrés; Godoy, Carlos (2004). Efecto del estado de madurez y atmósferas modificadas sobre la calidad de cerezas cv. Sweetheart. *Revista de la facultad de Ciencias Agrarias*, capítulo 36, n° 2, 39-48p.
46. J H. Cheng , D.-W. Sun , Z. Han , X.-A. Zeng Mediciones y análisis de textura y estructura para la evaluación de la calidad de la fresca del pescado y el filete: una revisión Revisiones integrales en ciencia de los alimentos y seguridad alimentaria , 13 (1) (2014) , págs. 52 - 61
47. José Olivares, Efecto del secado al vaco y asistido con ultrasonido en cubos de manzana (red delicious), 2019, Facultad estudios superiores Cuautitlán. *Journal of Food Process Engineering* , 41 (2018) , artículo e12917
48. Kashaninejad, M., Mortazavi, A., Safekordi, A., & Tabil, L.G. (2007). Thin-layer drying characteristics and modeling of pistachio nuts. *Journal of Food*
49. Kaur, G.; Saha, S.; Kumari, K.; Datta, A.K. Mango pulp drying by Refractance Window method. *Agric. Eng. Int. CIGR J.* 2017, 19, 145–151.
50. Keenan, D. F., Tiwari, B. K., Patras, A., Gormley, R., Butler, F., & Brunton, N. P. (2012). Effect of sonication on the bioactive, quality and rheological characteristics of fruit smoothies. *International Journal of Food Science & Technology*, 47(4), 827–836. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2621.2011.02915.X>
51. Khir, R.; Pan, Z.; Salim, A.; Hartsough, B.R.; Mohamed, S. Moisture diffusivity of rough rice underinfrared radiation drying. *LWT-Food Sci. Technol.* 2011, 44, 1126–1132.
52. Kobus-Cisowska, J., Flaczyk, E., Rudzińska, M., & Kmiecik, D. (2014). Antioxidant properties of extracts from Ginkgo biloba leaves in meatballs. *Meat Science*, 97(2), 174–180. Recuperado el 20 de Abril del 2018 de <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.01.011>
53. Koukouch, A., Idlimam, A., Asbik, M., Sarh, B., Izrar, B., Bah, A., & Ansari, O. (2015). Thermophysical characterization and mathematical modeling of convective solar drying of raw olive pomace. *Energy Conversion and Manage*, 99, 221–230

54. L. Ait Mohamed, C. Ethmane Kane, M. Kouhila, A. Jamali, M. Mahrouz, N. Kechaou Thin layer modelling of *Gelidium sesquipedale* solar drying process *Energy Conversion and Management*, 49 (2008), pp. 940-946
55. Luis González-Cavieres, Mario Pérez-Won, Gipsy Tabilo-Munizaga, Erick Jara Quijada, Rodrigo Díaz-Álvarez, Roberto Lemus-Mondaca, *Advances in vacuum microwave drying (VMD) systems for food products*, *Trends in Food Science & Technology*, Volume 116, 2021, Pages 626-638
56. Luna, J. C., Juan, R. 1 ;, Barreto, A., Zaira, T. ;, & Marín, A. 3. (2016). Facultad de ciencias agroindustriales programa de ingeniería de alimentos desarrollo de un modelo matemático que permita predecir el cambio del contenido de polifenoles en una matriz alimentaria sometida a tratamientos térmicos con diferentes condiciones facultad de ciencias agroindustriales programa de ingeniería de alimentos. 24(39).
57. MA Pavan , SJ Schmidt , H. Feng Comportamiento de sorción de agua y análisis térmico de jugo de açai (*Euterpe oleracea* Martius) liofilizado, refractancia secado en ventana y secado con aire caliente *LWT-Food Science and Technology* , 48 (2012) , págs. 75 - 81
58. Mahrukh Parveez Zia, Ilknur Alibas, The effect of different drying techniques on color parameters, ascorbic acid content, anthocyanin and antioxidant capacities of cornelian cherry, *Food Chemistry*, Volume 364, 2021
59. Martínez-Cruz, N., Arévalo-Niño, K., Verde-Star, M. J., Rivas-Morales, C., Oranday-Cárdenas, A., Adriana Núñez-González, M., Morales-Rubio, M. E., Nieves, C. M. C. A., Socorro, D., & Cruz, M. (2011). *Volumen 42 • Número 4 • Octubre-Diciembre*.
60. Maskan, A., Kaya, S., & Maskan, M. (2002). Hot air and sun drying of grape leather (pestil). *Journal of Food Engineering*, 54(1), 81–88. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(01\)00188-1](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(01)00188-1)
61. Midilli, A., Kucuk, H., & Yapar, Z. (2002). A new model for single-layer dry-ing. *Drying Technology*, 20, 1503–1513. <https://doi.org/10.1081/DRT-120005864>. White, Bridges, Loewer, and Ross (1978)
62. MJ Ortiz-Jerez , T. Gulati , AK Datta , CI Ochoa-Martínez Comprensión cuantitativa del secado Refractance Window TM Procesamiento de alimentos y bioproductos , 95 (2015) , págs.237 - 253
63. Mohit Singla, Nandan Sit, Application of ultrasound in combination with other technologies in food processing: A review, *Ultrasonics Sonochemistry*, Volume 73, 2021
64. Nemzer, B., Vargas, L., Xia, X., Sintara, M., & Feng, H. (2018). Phytochemical and physical properties of blueberries, tart cherries, strawberries, and cranberries as affected by different drying methods. *Food Chemistry*, 262, 242–250. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2018.04.047>
65. OA Caparino , J. Tang , CI Nindo , SS Sablani , JR Powers , JK Fellman Efecto de los métodos de secado sobre las propiedades físicas y las microestructuras del polvo de mango (variedad 'Carabao' filipina) *Journal of Food Engineering* , 111 (2012) , pp. 135 - 148
66. OA Caparino , J. Tang , CI Nindo , SS Sablani , JR Powers , JK Fellman Efecto de los métodos de secado sobre las propiedades físicas y las microestructuras del polvo de mango (variedad 'Carabao' filipina) *ournal of Food Engineering* , 111 (2012) , pp. 135 – 148

67. Ochoa-Martínez, C.; Quintero, P.; Ayala, A.; Ortiz, J. Drying characteristics of mango slices using the Refractance Window™ technique. *J. Food Eng.* 2012, 109, 69–75
68. Ocoró-Zamora, M.U.; Ayala-Aponte, A.A. Influence of thickness on the drying of papaya puree (*Carica papaya* L.) through Refractance Window™ technology. *Dyna* 2013, 80, 147–154.
69. ODEPA. 2015. Cerezas: frutas en expansión. Obtenido de <https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2015/08/Cerezas2015.pdf>. Consultado el 28 de noviembre del 2018.
70. ODEPA. 2017. Boletín fruta fresca. Obtenido de <http://www.odepa.gob.cl/contenidos-rubro/boletines-del-rubro/30epende-fruta-fresca-diciembre-de-2017>. Consultado el 04 de octubre del 2018.
71. ODEPA. 2019. Boletín fruta fresca. Febrero 2019. Obtenido de <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiZWQ3N2RhYzMtZmYxNS00Y2RjLTg2MDktMmJhOTRmMWVINWEzIiwidCI6IjMzYjdmNzA3LTZlNmYtNDJkMi04ZDZmLTk4YmZmOWZiNWZhMCIImMiOjR9>. Consultado el 09 de abril del 2020.
72. Oliveira, G. (2014). Capacidad antioxidante de avertroa carambola l. (carambola) frente a sistemas generadores de radicales libres (Tesis de Maestría). Nacional Mayor de San Marcos, Lima - Peru. Recuperado el 10 de Abril del 2018 de <http://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/cybertesis/3943>
73. Ortiz-Jerez, M. J., Sánchez, A. F., & Zapata Montoya, J. E. (2022). Drying kinetics and sensory characteristics of dehydrated pumpkin seeds (*Cucurbita moschata*) obtained by refractance window drying. *Helicon*, 8(10), e10947. <https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2022.E10947>
74. Oscar Barrena, Diego Vargas, Kerly Artunduaga, Conservación de las propiedades nutraceuticas del aloe vera (*Aloe Barbadensis Miller*) mediante técnicas de secado, revista ingeniería y región, volumen 20, 6- 21 pp, Enero- Junio de 2021/ universidad Sur colombiana.
75. Paredes Tuanama, H. S. (2018). Cuantificación de antocianinas por el método de pH diferencial del fruto de la uva Isabella (*Vitis labrusca*) procedente del distrito de San Antonio de Cumbaza. *Repositorio - UNSM*. <http://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/3125>
76. Peñarrieta, M., Tejeda, L., Mollinedo, P., Vila, J. & Bravo, J. (2014). Compuestos fenólicos y su presencia en alimentos. *Revista Boliviana de Química*, 31(2), 68–81.
77. Puente-Díaz, L., Spolmann, O., Nocetti, D., Zura-Bravo, L., & Lemus-Mondaca, R. (2020). Effects of infrared-assisted refractance window™ drying on the drying kinetics, microstructure, and color of *Physalis* fruit purée. *Foods*, 9(3). <https://doi.org/10.3390/foods9030343>
78. Qing-An Zhang, Yun Song, Xi Wang, Wu-Qi Zhao & Xue-Hui Fan (2016) Mathematical modeling of debittered apricot (*Prunus armeniaca* L.) kernels during thin-layer drying, *CyTA - Journal of Food*, 14:4, 509-517 *Química de los alimentos*, 156 (2014), págs. 362 – 368
79. R. Osae , C. Zhou , B. Xu , W. Tchabo , HE Tahir , AT Mustapha , H. Ma Efectos de los pretratamientos de ultrasonido, deshidratación osmótica y osmosonificación sobre compuestos bioactivos, caracterización química, inactivación de enzimas, color

- y actividad antioxidante de rodajas de jengibre secas J. Food Biochem. , 43 (5) (2019) , pág. e12832
80. Ramón, Carolina; Gil-Garzón, Maritza Andrea Efecto de los parámetros de operación de la extracción asistida por ultrasonido en la obtención de polifenoles de uva: una revisión Tecnológicas, vol. 24, núm. 51, e1882, 2021 Instituto Tecnológico Metropolitano, Colombia.
 81. Ratti, C., Mujumdar, A., 1995. Infrared drying. In: Mujumdar, A. (Ed.), Handbook of Industrial Drying, vol. 1. Marcel Dekker, New York, NY, pp. 1–39.
 82. Ricardo L. Monteiro, Aline I. Gomide, Jade V. Link, Bruno A.M. Carciofi, João B. Laurindo, Microwave vacuum drying of foods with temperature control by power modulation, Innovative Food Science & Emerging Technologies, Volume 65, 2020
 83. Ricardo L. Monteiro, Aline I. Gomide, Jade V. Link, Bruno A.M. Carciofi, João B. Laurindo, Microwave vacuum drying of foods with temperature control by power modulation, Innovative Food Science & Emerging Technologies, Volume 65, 2020.
 84. Rumpf, J., Burger, R., & Schulze, M. (2023). Statistical evaluation of DPPH, ABTS, FRAP, and Folin-Ciocalteu assays to assess the antioxidant capacity of lignins. *International Journal of Biological Macromolecules*, 233, 123470. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2023.123470>
 85. S.J. Kowalski, J. Szadzińska, Convective-intermittent drying of cherries preceded by ultrasonic assisted osmotic dehydration, Chemical Engineering and Processing: Process Intensification, Volume 82, 2014, Pages 65-70,
 86. Sacilik, K. (2007). Effect of drying methods on thin-layer drying characteristics of hull-less seed pumpkin (*Cucurbita pepo* L.). *Journal of Food Engineering*, 79(1), 23–30. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2006.01.023>
 87. Salehi, F., & Inanloodoghuz, M. (2023). Effects of gum-based coatings combined with ultrasonic pretreatment before drying on quality of sour cherries. *Ultrasonics Sonochemistry*, 100, 106633. <https://doi.org/10.1016/J.ULTSONCH.2023.106633>
 88. Shaofeng Yuan, Changjian Li, Yichi Zhang, Hang Yu, Yunfei Xie, Yahui Guo, Weirong Yao, Ultrasound as an emerging technology for the elimination of chemical contaminants in food: A review, Trends in Food Science & Technology, Volume 109, 2021, Pages 374-385
 89. Shi, Q., Zheng, Y., & Zhao, Y. (2013). Mathematical modeling on thinlayer heat pump drying of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) slices. *Energy Conversion and Manage*, 71, 208–216.
 90. Siucińska, K., Konopacka, D., Mieszczakowska-Frac, M., & Pohobok, A. (2016). The effects of ultrasound on quality and nutritional aspects of dried sour cherries during shelf-life. *LWT - Food Science and Technology*, 68, 168–173. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2015.11.055>
 91. Smaniotto, T. A. de S., Resende, O., de Sousa, K. A., de Oliveira, D. E. C., & Campos, R. C. (2017). Drying kinetics of sunflower grains. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 21(3), 203–208. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/AGRIAMBI.V21N3P203-208>
 92. Thayla B. Roratto, Ricardo L. Monteiro, Bruno A.M. Carciofi, João B. Laurindo, Toğrul, İ.T., & Pehlivan, D. (2004). Modeling of thin layer drying kinetics of some

- fruits under open-air sun drying process. *Journal of Food Engineering*, 65(3), 413–425.
93. Tontul , E. Eroğlu , A. Topuz Secado por ventana por convección y refractancia de la pulpa de cereza de cornalina: efecto sobre las propiedades fisicoquímicas
 94. Topuz , H. Feng , M. Kushad El efecto del método de secado y almacenamiento sobre las características de color del pimentón. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie* , 42 (2009) , págs. 1667 - 1673
 95. Topuz, A., Feng, H., & Kushad, M. (2009). The effect of drying method and storage on color characteristics of paprika. *LWT - Food Science and Technology*, 42(10), 1667–1673. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2009.05.014>
 96. Ulloa, José. (2013). Ultrasonido: aplicaciones en el campo de los alimentos. *Revista Fuente Nueva Época*. 4. 1-13.
 97. Vintimilla, M. (2013). Determinación de la actividad antioxidante de las fracciones lipofílicas e hidrofílicas de los subproductos agroindustriales de mango. Recuperado de <http://dspace.utpl.edu.ec/handle/123456789/5752>
 98. VM Karizaki , S. Sahin , G. Sumnu , MTH Mosavian , A. Luca Efecto de la deshidratación osmótica asistida por ultrasonido como pretratamiento en la fritura de patatas Técnica de bioprocesos alimentarios. , 6 (12) (2013) , págs. 3554 - 3563
 99. VR de Souza , PAP Pereira , TLT da Silva , LC de Oliveira Lima , R. Pio , F. Queiroz Determinación de compuestos bioactivos, actividad antioxidante y composición química de frutos de mora brasileña, frambuesa roja, fresa, arándano y cereza dulce
 100. White, G. M., Bridges, T. C., Loewer, O. J., & Ross, I. J. (1978). Seed coat damage in thin layer drying of soybeans as affected by drying conditions. *Transactions of the ASAE*, 23(1), 224–227. <https://doi.org/10.13031/2013.34559>
 101. Yaldiz, O., Ertekin, C., & Uzun, H.I. (2001). Mathematical modeling of thin layer solar drying of sultana grapes. *Energy*, 26(5), 457–465.
 102. Yang, Z., & Zhu, E. (2015). Water desorption isotherm and drying characteristics of green soybean. *Journal of Stored Products Research*, 60, 25–30.

ANEXO 2: calculo de las diferencias significativas de la constante “k” del modelo de midilli modificado

Tabla de Medias por Mínimos Cuadrados para K con intervalos de confianza del 95,0%

Nivel	Cocos	Medida	Error		
			Est.	Inferior	Superior
MEDIA GLOBAL	27	-0,0243262			
TRATAMIENTO					
S60	3	-0,0189893	0,0000495793	-0,01909353	-0,0188832
S70	3	-0,0236933	0,0000495793	-0,0237975	-0,0235892
S80	3	-0,0237667	0,0000495793	-0,0238708	-0,0236625
U60	3	-0,0231067	0,0000495793	-0,0232108	-0,0230025
U70	3	-0,02381	0,0000495793	-0,0239142	-0,0237058
U80	3	-0,0236667	0,0000495793	-0,0237708	-0,0235625
V60	3	-0,02497	0,0000495793	-0,0250742	-0,0248658
V70	3	-0,0261233	0,0000495793	-0,0262275	-0,0260192
V80	3	-0,02591	0,0000495793	-0,0260142	-0,0258028

El StatAdvisor

Esta tabla muestra la media de K para cada uno de los niveles de los factores. También muestra los errores estándar de cada media, los cuales son una medida de la variabilidad en su muestreo. Las dos columnas de la extrema derecha muestran intervalos de confianza del 95,0% para cada una de las medias. Pueden desplegarse estas medias e intervalos seleccionando Gráfica de Medias de la lista de Opciones Gráficas.

Tabla de Medias por Mínimos Cuadrados para B con intervalos de confianza del 95,0%

Nivel	Cocos	Medida	Error		
			Est.	Inferior	Superior
MEDIA GLOBAL	27	0,0617315			
TRATAMIENTO					
S60	3	0,0513603	0,00021836	0,0509012	0,0518195
S70	3	0,0652	0,00021836	0,0647408	0,0656592
S80	3	0,0607333	0,00021836	0,0602742	0,0611925
U60	3	0,06239	0,00021836	0,0619308	0,0628492
U70	3	0,0623	0,00021836	0,0618408	0,0627592
U80	3	0,0618	0,00021836	0,0613408	0,0622592
V60	3	0,0634333	0,00021836	0,0629742	0,0638925
V70	3	0,0630333	0,00021836	0,0625742	0,0634925
V80	3	0,0633333	0,00021836	0,0648742	0,0657925

El StatAdvisor

Esta tabla muestra la media de B para cada uno de los niveles de los factores. También muestra los errores estándar de cada media, los cuales son una medida de la variabilidad en su muestreo. Las dos columnas de la extrema derecha muestran intervalos de confianza del 95,0% para cada una de las medias. Pueden desplegarse estas medias e intervalos seleccionando Gráfica de Medias de la lista de Opciones Gráficas.

Pruebas de Múltiple Rango para K por TRATAMIENTO

Método: 95,0% confidence Tukey HSD

TRATAMIENTO	Cocos	Medida LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
U80	3	-0,0236667	0,0000495793	II
V70	3	-0,0261233	0,0000495793	I
V80	3	-0,02591	0,0000495793	III
S80	3	-0,0237667	0,0000495793	X
V60	3	-0,02497	0,0000495793	X
U70	3	-0,0231067	0,0000495793	X
S70	3	-0,0236933	0,0000495793	II
U60	3	-0,0231067	0,0000495793	X
S60	3	-0,0189893	0,0000495793	II

Comparación	Sig.	Diferencia	+- Limite
S60 - S80	**	0,042348	0,000246277
S60 - S70	**	0,0467713	0,000246277
S60 - U60	**	0,044171	0,000246277
S60 - U70	**	0,0445667	0,000246277
S60 - U80	**	0,0477713	0,000246277
S60 - V60	**	0,0458067	0,000246277
S60 - V70	**	0,077114	0,000246277
S60 - V80	**	0,0486204	0,000246277
S70 - S80	**	0,0423713	0,000246277
S70 - S60	**	-0,0445667	0,000246277
S70 - U70	**	0,0466667	0,000246277
S70 - U80	**	0,0423713	0,000246277
S70 - V70	**	0,0423713	0,000246277
S70 - V80	**	0,0423667	0,000246277
S70 - U60	**	0,0423667	0,000246277
S70 - U70	**	0,0423667	0,000246277
S70 - U80	**	0,0423667	0,000246277
S70 - V60	**	0,0423667	0,000246277
S70 - V70	**	0,0423667	0,000246277
S70 - V80	**	0,0423667	0,000246277
S80 - U60	**	0,0423667	0,000246277
S80 - U70	**	0,0423667	0,000246277
S80 - U80	**	0,0423667	0,000246277
S80 - V60	**	0,0423667	0,000246277
S80 - V70	**	0,0423667	0,000246277
S80 - V80	**	0,0423667	0,000246277
S80 - U70	**	0,0423667	0,000246277
S80 - U80	**	0,0423667	0,000246277
S80 - V60	**	0,0423667	0,000246277
S80 - V70	**	0,0423667	0,000246277
S80 - V80	**	0,0423667	0,000246277
S80 - U60	**	0,0423667	0,000246277
S80 - U70	**	0,0423667	0,000246277
S80 - U80	**	0,0423667	0,000246277
S80 - V60	**	0,0423667	0,000246277
S80 - V70	**	0,0423667	0,000246277
S80 - V80	**	0,0423667	0,000246277
S80 - U60	**	0,0423667	0,000246277
S80 - U70	**	0,0423667	0,000246277
S80 - U80	**	0,0423667	0,000246277
S80 - V60	**	0,0423667	0,000246277
S80 - V70	**	0,0423667	0,000246277
S80 - V80	**	0,0423667	0,000246277
S80 - U60	**	0,0423667	0,000246277
S80 - U70	**	0,0423667	0,000246277
S80 - U80	**	0,0423667	0,000246277
S80 - V60	**	0,0423667	0,000246277
S80 - V70	**	0,0423667	0,000246277
S80 - V80	**	0,0423667	0,000246277
S80 - U60	**	0,0423667	0,000246277
S80 - U70	**	0,0423667	0,000246277
S80 - U80	**	0,0423667	0,000246277
S80 - V60	**	0,0423667	0,000246277
S80 - V70	**	0,0423667	0,000246277
S80 - V80	**	0,0423667	0,000246277
S80 - U60	**	0,0423667	0,000246277
S80 - U70	**	0,0423667	0,000246277
S80 - U80	**	0,0423667	0,000246277
S80 - V60	**	0,0423667	0,000246277
S80 - V70	**	0,0423667	0,000246277
S80 - V80	**	0,0423667	0,000246277
S80 - U60	**	0,0423667	0,000246277
S80 - U70	**	0,0423667	0,000246277
S80 - U80	**	0,0423667	0,000246277
S80 - V60	**	0,0423667	0,000246277
S80 - V70	**	0,0423667	0,000246277
S80 - V80	**	0,0423667	0,000246277
S80 - U60	**	0,0423667	0,000246277
S80 - U70	**	0,0423667	0,000246277
S80 - U80	**	0,0423667	0,000246277
S80 - V60	**	0,0423667	0,000246277
S80 - V70	**	0,0423667	0,000246277
S80 - V80	**	0,0423667	0,000246277
S80 - U60	**	0,0423667	0,000246277
S80 - U70	**	0,0423667	0,000246277
S80 - U80	**	0,0423667	0,000246277
S80 - V60	**	0,0423667	0,000246277
S80 - V70	**	0,0423667	0,000246277
S80 - V80	**	0,0423667	0,000246277
S80 - U60	**	0,0423667	0,000246277
S80 - U70	**	0,0423667	0,000246277
S80 - U80	**	0,0423667	0,000246277
S80 - V60	**	0,0423667	0,000246277
S80 - V70	**	0,0423667	0,000246277
S80 - V80	**	0,0423667	0,000246277
S80 - U60	**	0,0423667	0,000246277
S80 - U70	**	0,0423667	0,000246277
S80 - U80	**	0,0423667	0,000246277
S80 - V60	**	0,0423667	0,000246277
S80 - V70	**	0,0423667	0,000246277
S80 - V80	**	0,0423667	0,000246277
S80 - U60	**	0,0423667	0,000246277
S80 - U70	**	0,0423667	0,000246277
S80 - U80	**	0,0423667	0,000246277
S80 - V60	**	0,0423667	0,000246277
S80 - V70	**	0,0423667	0,000246277
S80 - V80	**	0,0423667	0,000246277
S80 - U60	**	0,0423667	0,000246277
S80 - U70	**	0,0423667	0,000246277
S80 - U80	**	0,0423667	0,000246277
S80 - V60	**	0,0423667	0,000246277
S80 - V70	**	0,0423667	0,000246277
S80 - V80	**	0,0423667	0,000246277
S80 - U60	**	0,0423667	0,000246277
S80 - U70	**	0,0423667	0,000246277
S80 - U80	**	0,0423667	0,000246277
S80 - V60	**	0,0423667	0,000246277
S80 - V70	**	0,0423667	0,000246277
S80 - V80	**	0,0423667	0,000246277
S80 - U60	**	0,0423667	0,000246277
S80 - U70	**	0,0423667	0,000246277
S80 - U80	**	0,0423667	0,000246277
S80 - V60	**	0,0423667	0,000246277
S80 - V70	**	0,0423667	0,000246277
S80 - V80	**	0,0423667	0,000246277
S80 - U60	**	0,0423667	0,000246277
S80 - U70	**	0,0423667	0,000246277
S80 - U80	**	0,0423667	0,000246277
S80 - V60	**	0,0423667	0,000246277
S80 - V70	**	0,0423667	0,000246277
S80 - V80	**	0,0423667	0,000246277
S80 - U60	**	0,0423667	0,000246277
S80 - U70	**	0,0423667	0,000246277
S80 - U80	**	0,0423667	0,000246277
S80 - V60	**	0,0423667	0,000246277
S80 - V70	**	0,0423667	0,000246277
S80 - V80	**	0,0423667	0,000246277
S80 - U60	**	0,0423667	0,000246277
S80 - U70	**	0,0423667	0,000246277
S80 - U80	**	0,0423667	0,000246277
S80 - V60	**	0,0423667	0,000246277
S80 - V70	**	0,0423667	0,000246277
S80 - V80	**	0,0423667	0,000246277
S80 - U60	**	0,0423667	0,000246277
S80 - U70	**	0,0423667	0,000246277
S80 - U80	**	0,0423667	0,000246277
S80 - V60	**	0,0423667	0,000246277
S80 - V70	**	0,0423667	0,000246277
S80 - V80	**	0,0423667	0,000246277
S80 - U60	**	0,0423667	0,000246277
S80 - U70	**	0,0423667	0,000246277
S80 - U80	**	0,0423667	0,000246277
S80 - V60	**	0,0423667	0,000246277
S80 - V70	**	0,0423667	0,000246277
S80 - V80	**	0,0423667	0,000246277
S80 - U60	**	0,0423667	0,000246277
S80 - U70	**	0,0423667	0,000246277
S80 - U80	**	0,0423667	0,000246277
S80 - V60	**	0,0423667	0,000246277
S80 - V70	**	0,0423667	0,000246277
S80 - V80	**	0,0423667	0,000246277
S80 - U60	**	0,0423667	0,000246277
S80 - U70	**	0,0423667	0,000246277
S80 - U80	**	0,0423667	0,000246277
S80 - V60	**	0,0423667	0,000246277
S80 - V70	**	0,0423667	0,000246277
S80 - V80	**	0,0423667	0,000246277
S80 - U60	**	0,0423667	0,000246277
S80 - U70	**	0,0423667	0,000246277
S80 - U80	**	0,	

Análisis de Varianza para Polifenoles - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Tratamiento	190933,	8	23866,7	50,25	0,0000
RESIDUOS	8549,19	18	474,955		
TOTAL (CORREGIDO)	199483,	26			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

El StatAdvisor

La tabla ANOVA descompone la variabilidad de Polifenoles en contribuciones debidas a varios factores. Puesto que se ha escogido la suma de cuadrados Tipo III (por omisión), la contribución de cada factor se mide eliminando los efectos de los demás factores. Los valores-P prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que un valor-P es menor que 0,05, este factor tiene un efecto estadísticamente significativo sobre Polifenoles con un 95,0% de nivel de confianza.

ANEXO 3: Cálculos de diferencias significativas de valores de contenido de polifenoles

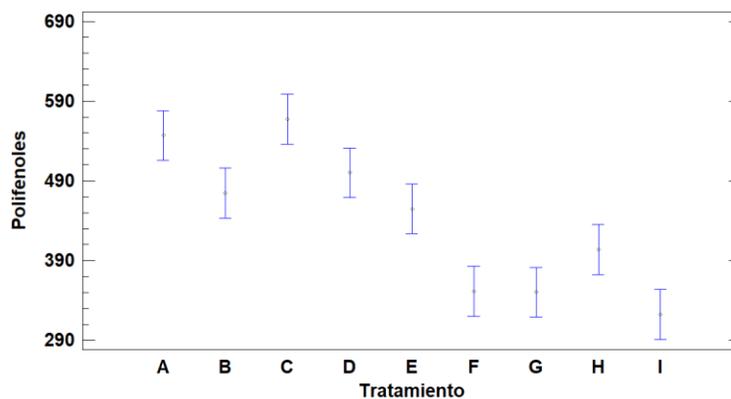
Tabla de Medias por Mínimos Cuadrados para Polifenoles con intervalos de confianza del 95,0%

Nivel	Casos	Media	Error Est.	Limite Inferior	Limite Superior
MEDIA GLOBAL	27	441,318			
Tratamiento					
A	3	546,871	12,5825	520,436	573,305
B	3	474,484	12,5825	448,049	500,919
C	3	567,41	12,5825	540,975	593,845
D	3	500,115	12,5825	473,68	526,549
E	3	454,839	12,5825	428,405	481,274
F	3	351,557	12,5825	325,123	377,992
G	3	350,353	12,5825	323,919	376,788
H	3	403,749	12,5825	377,314	430,183
I	3	322,486	12,5825	296,051	348,921

El StatAdvisor

Esta tabla muestra la media de Polifenoles para cada uno de los niveles de los factores. También muestra los errores estándar de cada media, los cuales son una medida de la variabilidad en su muestreo. Las dos columnas de la extrema derecha muestran intervalos de confianza del 95,0% para cada una de las medias. Pueden desplegarse estas medias e intervalos seleccionado Gráfica de Medias de la lista de Opciones Gráficas.

Medias y 95,0% de Tukey HSD



Pruebas de Múltiple Rangos para Polifenoles por Tratamiento

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

Tratamiento	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
I	3	322,486	12,5825	X
G	3	350,353	12,5825	XX
F	3	351,557	12,5825	XX
H	3	403,749	12,5825	XX
E	3	454,839	12,5825	XX
B	3	474,484	12,5825	X
D	3	500,115	12,5825	XX
A	3	546,871	12,5825	XX
C	3	567,41	12,5825	X

Contraste	Sig.	Diferencia	± Límites
A - B	*	72,3867	62,5011
A - C	*	-20,3393	62,5011
A - D	*	48,736	62,5011
A - E	*	92,0313	62,5011
A - F	*	192,313	62,5011
A - G	*	196,517	62,5011
A - H	*	143,122	62,5011
A - I	*	224,382	62,5011
B - C	*	-92,926	62,5011
B - D	*	-25,6307	62,5011
B - E	*	12,6447	62,5011
B - F	*	122,927	62,5011
B - G	*	124,131	62,5011
B - H	*	70,7253	62,5011
B - I	*	151,998	62,5011
C - D	*	67,393	62,5011
C - E	*	112,571	62,5011
C - F	*	215,853	62,5011
C - G	*	217,057	62,5011
C - H	*	163,661	62,5011
C - I	*	244,924	62,5011
D - E	*	45,2753	62,5011
D - F	*	148,557	62,5011
D - G	*	149,761	62,5011
D - H	*	96,366	62,5011
D - I	*	177,629	62,5011
E - F	*	103,282	62,5011
E - G	*	104,486	62,5011
E - H	*	31,6907	62,5011
E - I	*	132,353	62,5011
F - G	*	1,204	62,5011
F - H	*	-2,1913	62,5011
F - I	*	29,0713	62,5011
G - H	*	-33,3853	62,5011
G - I	*	27,8673	62,5011
H - I	*	81,2627	62,5011

* Indica una diferencia significativa

El StatAdvisor

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 25 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95,0% de confianza. En la parte superior de la página, se han identificado 6 grupos homogéneos según la agrupación de las 2Cs en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de 2Cs. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia honestamente significativa (HSD) de Tukey. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que uno o más pares son significativamente diferentes, cuando la diferencia real es igual a 0.

LETRA	TRATAMIENTO	TEMPERATURA
A	VACIO	60
B	ULTRASONIDO	60
C	ESTANDAR	60
D	VACIO	70
E	ULTRASONIDO	70
F	ESTANDAR	70
G	VACIO	80
H	ULTRASONIDO	80
I	ESTANDAR	80

ANEXO 4: Cálculos de las concentraciones de los polifenoles

ID	Sample Nam	Abs.	Conc. (mg/L)	Curva Patron 1			Tratamiento	Concentracion Diluida (mg/L)	Concentracion Final (mg/L)	Promedio	Desviacion Estandar
				R2	Abs.	Conc. (mg/L)					
1	A2	0,5080	262,908	Ecuacion de la recta C=516,0634 *A +0,7473			A1	262,908	525,816	547	29,689041
2	A3	0,5159	266,984	R2 0,99815			A2	266,984	533,968		
3	B1	0,4513	233,647	ID	Abs.	Conc. (mg/L)	A3	290,414	580,828		
4	B2	0,4518	233,905	1	0,0001	0,000	B1	233,647	467,294	474	12,009348
5	B3	0,4717	244,174	2	0,0482	25,000	B2	233,905	467,81		
6	C1	0,5547	287,008	3	0,0890	50,000	B3	244,174	488,348		
7	C3	0,5492	284,169	4	0,1465	75,000	C1	287,008	574,016	567	7,1155315
8	D2	0,5098	263,836	5	0,1832	100,000	C2	284,169	568,338		
9	D3	0,5013	259,450	6	0,3121	150,000	C3	279,938	559,876		
10	E1	0,4343	224,874	7	0,3788	200,000	D1	263,836	527,672	500	40,372875
11	E2	0,4356	225,545	8	0,4776	250,000	D2	259,45	518,9		
12	E3	0,4478	231,840	Curva Patron 2			D3	226,886	453,772		
13	F1	0,3508	181,782	Ecuacion de la recta C=500,4400 *A -4,2534			E1	224,874	449,748	455	7,6855892
14	F2	0,3319	172,029	R2 0,98627			E2	225,545	451,09		
15	F3	0,3348	173,525	ID	Abs.	Conc. (mg/L)	E3	231,84	463,68		
16	G1	0,3434	177,963	1	0,0225	25,000	F1	181,782	363,564	352	10,505144
17	G2	0,3499	181,318	2	0,1572	50,000	F2	172,029	344,058		
18	G3	0,3207	166,249	3	0,1708	75,000	F3	173,525	347,05		
19	H1	0,3849	199,380	4	0,2130	100,000	G1	177,963	355,926	350	15,822949
20	H2	0,3807	197,213	5	0,2853	150,000	G2	181,318	362,636		
21	H3	0,4036	209,030	6	0,4073	200,000	G3	166,249	332,498		
22	I1	0,3335	172,854	7	0,5019	250,000	H1	199,38	398,76	404	12,581994
23	I3	0,3232	167,539	Curva Patron 3			H2	197,213	394,426		
24	A1	0,4328	224,100	Ecuacion de la recta C=514,9822 *A -2,5571			H3	209,03	418,06		
25	C2	0,5410	279,938	R2 0,985385			I1	172,854	345,708	322	31,467939
26	A4	0,5613	290,414	ID	Abs.	Conc. (mg/L)	I2	167,539	335,078		
27	D4	0,4382	226,886	1	0,0163	25,000	I3	143,336	286,672		
28	I2	0,2763	143,336	2	0,1494	50,000					
				3	0,1672	75,000					
				4	0,1999	100,000					
				5	0,2762	150,000					
				6	0,3968	200,000					
				7	0,4795	250,000					

ANEXO 5: Calculo de concentracion Antocianinas

DIFF A	DIFF A"	A FINAL	CAT SUPERIOR	CAT INFERIOR	CAT REAL	Tratamiento	mg de Catequina/g de cereza	Promedio	Desviacion Estandar
0,7221	0,1477	0,5744	2580204,8	26900	95,918394	A1	95,918394	98	2
0,7327	0,1535	0,5792	2601766,4	26900	96,719941	A2	96,719941		
0,7469	0,1487	0,5982	2687114,4	26900	99,892729	A3	99,892729		
0,6148	0,116	0,4988	2240609,6	26900	83,294037	B1	83,294037	83	1
0,6274	0,1235	0,5039	2263518,8	26900	84,14568	B2	84,14568		
0,6056	0,1187	0,4869	2187154,8	26900	81,30687	B3	81,30687		
0,7867	0,1083	0,6784	3047372,8	26900	113,28523	C1	113,28523	113	4
0,8126	0,1178	0,6948	3121041,6	26900	116,02385	C2	116,02385		
0,7643	0,1135	0,6508	2923393,6	26900	108,67634	C3	108,67634		
0,8399	0,1209	0,719	3229748	26900	120,06498	D1	120,06498	123	3
0,8506	0,1148	0,7358	3305213,6	26900	122,87039	D2	122,87039		
0,8765	0,1213	0,7552	3392358,4	26900	126,10998	D3	126,10998		
0,6845	0,1047	0,5798	2604461,6	26900	96,820134	E1	96,820134	99	2
0,7114	0,1054	0,606	2722152	26900	101,19524	E2	101,19524		
0,7029	0,1049	0,598	2686216	26900	99,859331	E3	99,859331		
0,4644	0,0627	0,4017	1804436,4	26900	67,07942	F1	67,07942	69	2
0,4716	0,0617	0,4099	1841270,8	26900	68,448729	F2	68,448729		
0,4834	0,0625	0,4209	1890682,8	26900	70,285606	F3	70,285606		
0,6276	0,0816	0,546	2452632	26900	91,175911	G1	91,175911	87	4
0,5983	0,1055	0,4928	2213657,6	26900	82,292104	G2	82,292104		
0,6063	0,0861	0,5202	2336738,4	26900	86,867599	G3	86,867599		
0,5762	0,094	0,4822	2166042,4	26900	80,522022	H1	80,522022	82	2
0,587	0,0988	0,4882	2192994,4	26900	81,523955	H2	81,523955		
0,6076	0,0977	0,5099	2290470,8	26900	85,147613	H3	85,147613		
0,3726	0,0823	0,2903	1304027,6	26900	48,476863	I1	48,476863	49	2
0,3799	0,0728	0,3071	1379493,2	26900	51,282275	I2	51,282275		
0,3715	0,0797	0,2918	1310765,6	26900	48,727346	I3	48,727346		

Concentracion	Abs. (517,0)	Abs. (517,0)	Concentracion	SC Inhibida
0,0125	0,5050	0,4377	0,0125	13,32373
0,0625	0,5008	0,4356	0,0625	13,02163
0,125	0,4967	0,4251	0,125	14,31927
0,625	0,4963	0,4263	0,625	16,03203
1,25	0,5038	0,3960	1,25	41,24653
6,25	0,4963	0,0960	6,25	80,33313
12,5	0,5098	0,0402	12,5	92,11455

49	I1	0,1067	0,0244
50	I2	0,0916	0,0188
51	I3	0,1047	0,025
52	I'1	0,3726	0,0436
53	I'2	0,3799	0,0464
54	I'3	0,3715	0,045

ANEXO 6: Calculo concentracion Capacidad antioxidante

Curva Patron 1			
Concentracion	Abs. (517,0)	Abs. (517,0)	Concentracion
0,0125	0,5050	0,4377	0,0125
0,0625	0,5008	0,4356	0,0625
0,125	0,4967	0,4251	0,125
0,625	0,4963	0,4263	0,625
1,25	0,5038	0,3960	1,25
6,25	0,4963	0,0960	6,25
12,5	0,5098	0,0402	12,5

Curva Patron 1			
Concentracion	Abs. (517,0)	Abs. (517,0)	Concentracion
0,0125	0,5050	0,4376	0,0125
0,0625	0,5008	0,4356	0,0625
0,125	0,4967	0,4251	0,125
0,625	0,4963	0,4262	0,625
1,25	0,5038	0,3960	1,25
6,25	0,4963	0,0960	6,25
12,5	0,5098	0,0401	12,5

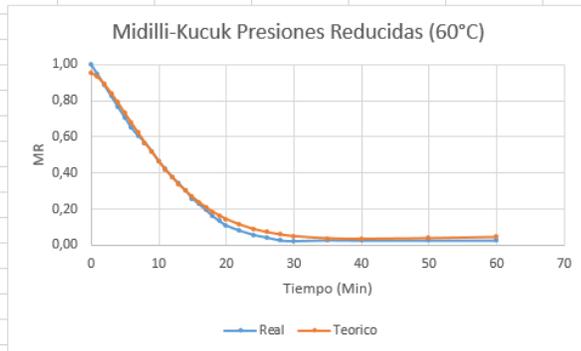
Curva Patron 1			
Concentracion	Abs. (517,0)	Abs. (517,0)	Concentracion
0,0125	0,5050	0,4381	0,0125
0,0625	0,5008	0,4357	0,0625
0,125	0,4967	0,4245	0,125
0,625	0,4963	0,4263	0,625
1,25	0,5038	0,3960	1,25
6,25	0,4963	0,0961	6,25
12,5	0,5098	0,0395	12,5

ID	Sample Number (517,000)		Tratamiento	% Inhibición	Concentración diluida (mg DPPH/L)	Concentración Inicial (mg DPPH/L)																				
1	A1	0,5478	A1	43,483023	3,528370111	232,8724273																				
2	A2	0,5459																								
3	A3	0,5452																								
4	A1-1	0,3096																								
5	A2-1	0,3015																								
6	A3-1	0,2979																								
7	E1	0,5641																	B1	44,247474	3,642501322	240,4050872	A1	232,8724273	244,7664468	10,53126045
8	E2	0,5642																	C1	41,405981	3,21827134	212,4059085	A2	248,5210441		
9	E3	0,5618																	D1	46,623497	3,997237498	263,8176749	A3	252,9058689		
10	E1-1	0,3145																	E1	45,933014	3,89414965	257,0138769	B1	240,4050872	237,3471449	5,981485166
11	E2-1	0,3218	F1	47,912452	4,189676279	276,5186344	B2	230,4548812																		
12	E3-1	0,3135	G1	45,831022	3,87892242	256,0088797	B3	241,1814662																		
13	C1	0,5818	H1	43,657602	3,554434421	234,5926718	C1	212,4059085	227,2600705	14,41043792																
14	C2	0,5721	I1	44,750558	3,717610996	245,3623257	C2	228,1928369																		
15	C3	0,5621					C3	241,1814662																		
16	C1-1	0,3409	Tratamiento	% Inhibición	Concentración diluida (mg DPPH/L)	Concentración Inicial (mg DPPH/L)																				
17	C2-1	0,3276																								
18	C3-1	0,3218																								
19	D1	0,5405																	A2	44,770104	3,765470366	248,5210441	D1	263,8176749	270,0849793	6,37758629
20	D2	0,5215																	B2	42,963488	3,491740625	230,4548812	D2	269,8698589		
21	D3	0,5221																	C2	42,737284	3,457467226	228,1928369	D3	276,5674042		
22	D1-1	0,2885																	D2	46,904986	4,088937256	269,8698589	E1	257,0138769	266,4066781	8,656976271
23	D2-1	0,2822																	E2	46,732087	4,062740402	268,1408665	E2	268,1408665		
24	D3-1	0,2781																	E3	47,420237	4,167005608	275,0223701	E3	274,065291		
25	E1	0,5434																	F2	47,420237	4,167005608	275,0223701	F1	276,5186344	273,8303927	3,442640957
26	E2	0,5401	G2	44,504572	3,725238144	245,8657175	F2	275,0223701																		
27	E3	0,5408	H2	47,406447	4,164916187	274,8844683	F3	269,9501737																		
28	E1-1	0,2938	I2	46,343744	4,00390063	264,2574416	G1	256,0088797	253,7586532	7,042801961																
29	E2-1	0,2877					G2	245,8657175																		
30	E3-1	0,2840	Tratamiento	% Inhibición	Concentración diluida (mg DPPH/L)	Concentración Inicial (mg DPPH/L)	G3	259,4013622			266,3684086	28,48888648														
31	F1	0,5437	A3	45,369521	3,831907105	252,9058689	H1	234,5926718																		
32	F2	0,5485	B3	44,197223	3,65426464	241,1814662	H2	274,8844683																		
33	F3	0,5519	C3	42,7504	3,43502247	226,711483	H3	289,6280858	257,8961999	10,85506309																
34	F1-1	0,2832	D3	47,735388	4,190415215	276,5674042	I1	245,3623257																		
35	F2-1	0,2884	E3	47,485207	4,15250441	274,065291	I2	264,2574416																		
36	F3-1	0,2921	F3	47,073745	4,090154147	269,9501737	I3	264,0688324																		
37	G1	0,5409	G3	46,018992	3,93032367	259,4013622																				
38	G2	0,5259	H3	49,041298	4,38830433	289,6280858																				
39	G3	0,5476	I3	46,485682	4,001042916	264,0688324																				
40	G1-1	0,2930																								
41	G2-1	0,2974																								
42	G3-1	0,2956																								
43	H1	0,5479																								
44	H2	0,5298																								
45	H3	0,5424																								
46	H1-1	0,3087																								
47	H2-1	0,2839																								
48	H3-1	0,2764																								
49	I1	0,5272																								
50	I2	0,5247																								
51	I3	0,5278																								
52	I1-1	0,2968																								
53	I2-1	0,2869																								
54	I3-1	0,2878																								

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

ANEXO 7: Cálculos del RSME y SSE junto con el grafico de modelamiento del modelo Midilli-Kucuk a 60 ° C

60°C		Midilli-Kucuk		
t	H.R	H.T	RSME	SSE
0	1,0000	0,9946	0,04286574	0,05328668
1	0,9632	0,9623		
2	0,9264	0,9304		
3	0,8954	0,8989		
4	0,8644	0,8677		
5	0,8295	0,8369		
6	0,7947	0,8065		
7	0,7620	0,7765		
8	0,7293	0,7469		
9	0,7006	0,7178		
10	0,6719	0,6890		
11	0,6412	0,6607		
12	0,6106	0,6329		
13	0,5814	0,6054		
14	0,5521	0,5785		
15	0,5217	0,5520		
16	0,4912	0,5260		
17	0,4608	0,5005		
18	0,4303	0,4754		
19	0,4057	0,4509		
20	0,3811	0,4269		
22	0,3550	0,3805		
24	0,3047	0,3362		
26	0,2774	0,2942		
28	0,2543	0,2546		
30	0,1971	0,2174		
35	0,1237	0,1357		
40	0,0708	0,0715		
50	0,0244	0,0024		
60	0,0094	0,0264		



ANEXO 8: cálculos del ΔE del color de las fotografías de la muestra de cereza por RW estándar a diferentes temperaturas

		INICIAL			80			70			60		
		a	b	L	a	b	L	a	b	L	a	b	L
1	A	29	12	-4	30	16	-1	36	11	2	34	13	2
	B	25	12	-3	31	16	-1	35	12	1	35	10	1
	C	27	13	-4	30	16	-2	35	11	2	33	12	0
	D	30	19	-2	32	16	-1	34	13	0	34	12	-1
	E	26	16	-2	29	15	-1	36	13	1	33	13	1
2	A	31	18	-1	29	16	-2	36	12	1	34	13	0
	B	32	19	-1	30	16	-2	37	11	2	34	12	1
	C	26	16	-2	31	16	-1	37	12	0	35	14	1
	D	29	16	-3	28	17	-1	34	13	1	36	15	2
	E	27	16	-2	29	15	-1	34	10	2	34	12	1
3	A	28	17	-4	30	17	-2	35	13	2	35	12	-1
	B	29	13	-2	31	17	-2	34	12	0	36	11	1
	C	30	16	-2	30	17	-2	36	14	2	31	12	0
	D	28	14	-1	31	17	-2	34	14	1	33	11	-1
	E	27	13	-4	31	15	-1	34	12	2	33	12	1
PROMEDIO		28	15	-2	30	16	-1	35	12	1	34	12	1
desviacion		2	2	1	1	1	0,516	1	1	1	1	1	1
		30±1	16±1	(-)/±3	35±3	12±2	1±1	34±1	12±1	1±1			

		ΔE		
		80	70	60
ESTANDAR		2	10	6
		3	8	9
		2	9	6
		4	7	7
		2	9	5
		1	9	6
		2	11	7
		3	10	7
		2	7	8
		2	9	7
		2	8	8
		3	7	9
		2	9	4
		3	7	6
		3	8	6
PROMEDIO		3	9	7
DESVEST		0,8	1	1
		3±0,8	9±1	7±1

Anexo 8: Calculo de las diferencias significativas de la luminocidad “L”

Análisis de Varianza para L - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A.TRATAMIENTO	187,467	8	23,4333	16,38	0,0000
RESIDUOS	180,267	126	1,43069		
TOTAL (CORREGIDO)	367,733	134			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

El StatAdvisor

La tabla ANOVA descompone la variabilidad de L en contribuciones debidas a varios factores. Puesto que se ha escogido la suma de cuadrados Tipo III (por omisión), la contribución de cada factor se mide eliminando los efectos de los demás factores. Los valores-P prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que un valor-P es menor que 0,05, este factor tiene un efecto estadísticamente significativo sobre L con un 95,0% de nivel de confianza.

Tabla de Medias por Mínimos Cuadrados para L con intervalos de confianza del 95,0%

Nivel	Casos	Medida	Error Est.	Límite Inferior	Límite Superior
MEDIA GLOBAL	135	-0,377778			
TRATAMIENTO					
S60	15	0,533333	0,308835	-0,0778437	1,14451
S70	15	1,26667	0,308835	0,65549	1,87784
S80	15	-1,46667	0,308835	-2,07784	-0,85549
U60	15	-0,666667	0,308835	-1,27784	-0,0554897
U70	15	-1,4	0,308835	-2,01118	-0,788823
U80	15	-0,0666667	0,308835	-0,677844	0,54451
V60	15	1,26667	0,308835	0,65549	1,87784
V70	15	-2,33333	0,308835	-2,94451	-1,72216
V80	15	-0,533333	0,308835	-1,14451	0,0778437

El StatAdvisor

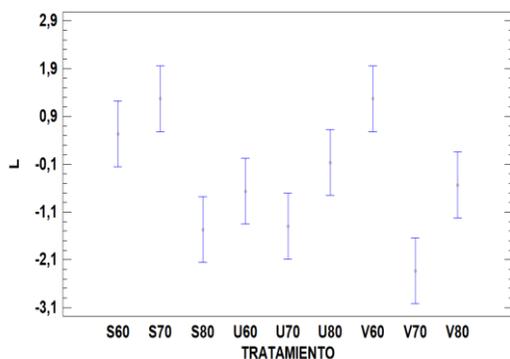
Esta tabla muestra la media de L para cada uno de los niveles de los factores. También muestra los errores estándar de cada media, los cuales son una medida de la variabilidad en su muestreo. Las dos columnas de la extrema derecha muestran intervalos de confianza del 95,0% para cada una de las medias. Pueden desplegarse estas medias e intervalos seleccionando Gráfica de Medias de la lista de Opciones Gráficas.

Pruebas de Múltiple Rangos para L por TRATAMIENTO

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

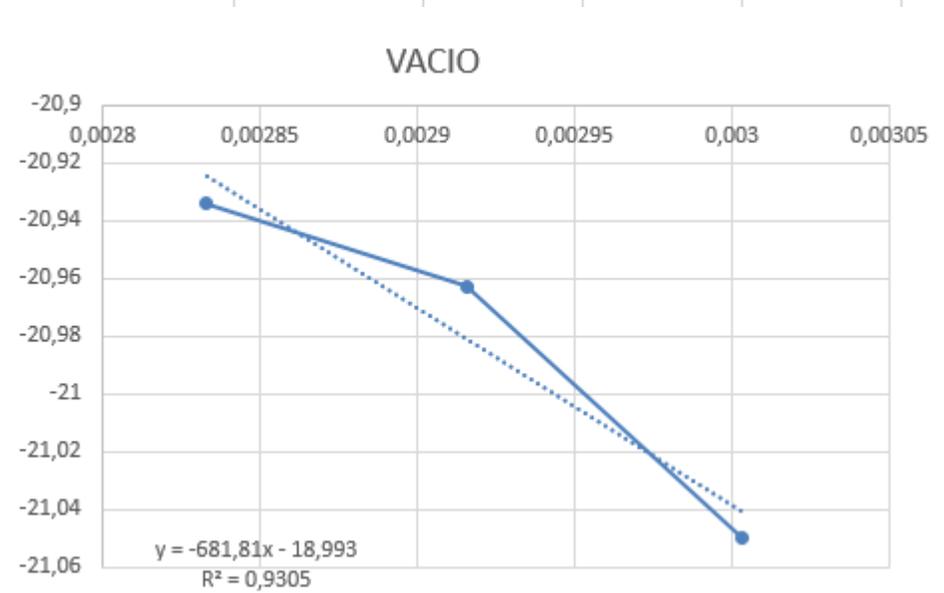
TRATAMIENTO	Casos	Medida LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
V70	15	-2,33333	0,308835	X
S80	15	-1,46667	0,308835	XX
U70	15	-1,4	0,308835	XXX
U60	15	-0,666667	0,308835	XXX
V80	15	-0,533333	0,308835	XXX
U80	15	-0,0666667	0,308835	XXXX
S60	15	0,533333	0,308835	XX
V60	15	1,26667	0,308835	X
S70	15	1,26667	0,308835	X

Medias y 95,0% de Tukey HSD

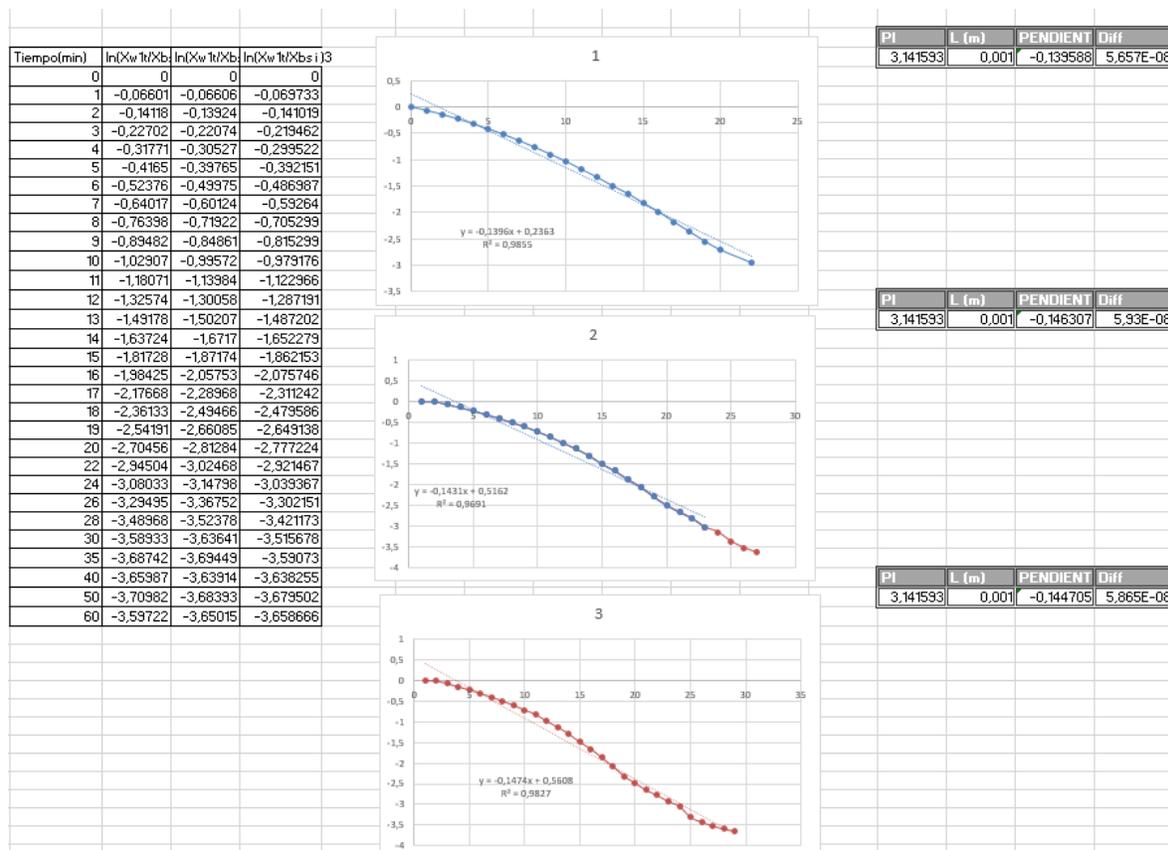


ANEXO 8: Calculo de la energia libre del secado RW asisitido por preciones reducidas

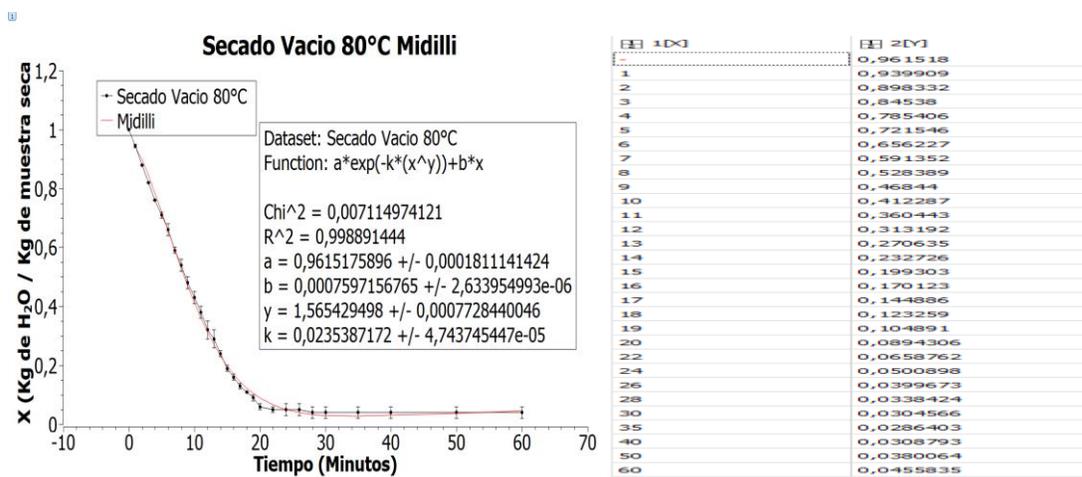
	VACIO			
TEMPERATURA	DIFF	1/t(k)	ln(dif)	
60	7,21667E-10	0,003003	-21,0494574	
70	7,87177E-10	0,00291545	-20,962568	
80	8,10E-10	0,00283286	-20,9339869	
		PENDIENTE	r	EA
		-681,80969	8,314	5,66856576
				5668,56576



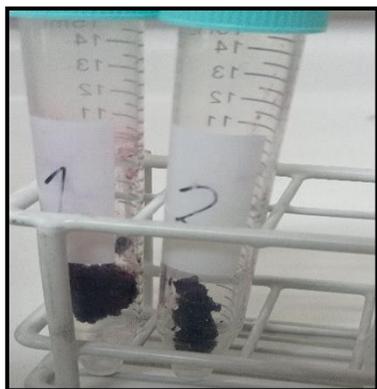
ANEXO 9: Calculo de la difucividad efectiva del metodo RW estandar a 80°C



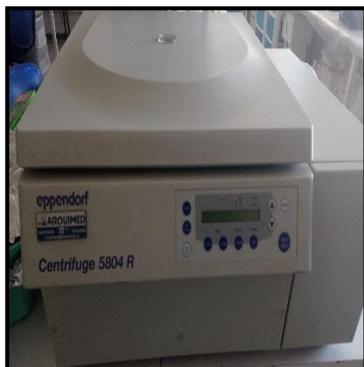
ANEXO 10: modelamiento cinético del secado RW asistido por presiones reducidas través del modelo Midilli-Kucuk



ANEXO 11: Fotos de masado de la muestra de cereza seguido de la aplicación del disolvente de metanol ácido



ANEXO 12: Fotos de la centrifugadora utilizada seguido de la imagen de los extractos de cerezas listos para su análisis



ANEXO 13: Gráficos de comparación entre la curva MR real y la teórica calculada por el modelo Midilli – Kucuk

