



**FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y  
URBANISMO**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA  
AGROINDUSTRIAL Y COMERCIO EXTERIOR**

**TESIS**  
**EFFECTO DEL TIEMPO Y TEMPERATURA DE  
PASTEURIZACIÓN EN CINÉTICA DE DEGRADACIÓN  
DE FENOLES EN EL ZUMO DE MORA (*Rubus  
Ulmifolius.*)**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO AGROINDUSTRIAL Y COMERCIO  
EXTERIOR**

**Autor:**

**Bach. Mera Campos Jose Antony**  
**(<https://orcid.org/0000-0002-3948-698X>)**

**Asesor:**

**Mg. Ing. Aurora Vigo Edward Florencio**  
**(<https://orcid.org/0000-0002-9731-4318>)**

**Línea de Investigación:**  
**Infraestructura, Tecnología y Medio Ambiente**

**Pimentel – Perú**  
**2022**

**APROBACIÓN DEL JURADO**  
**EFFECTO DEL TIEMPO Y TEMPERATURA DE PASTEURIZACION EN**  
**CINÉTICA DE DEGRADACIÓN DE FENOLES DEL ZUMO DE MORA (*Rubus***  
***Ulmifolius.*)**

---

**Bach. Mera Campos Jose Antony**  
**Autor**

---

**Mg. Ing. Aurora Vigo Edward Florencio**  
**Asesor**

---

**Mg. Ing. Larrea Colchado Luis Roberto**  
**Presidente de Jurado**

---

**Mg. Ing. Aurora Vigo Edward Florencio**  
**Secretario de Jurado**

---

**Ing. Símpalo López Walter Bernardo**  
**Vocal de Jurado**

## **DEDICATORIA**

Este trabajo de investigación va dedicado a toda mi familia, haciéndole una mención especial a mis padres Juan José Mera Bravo y a mi Madre Celia Rosa Campos Baylón, por haber depositado su total confianza en mí y ayudándome con todo lo que les solicité; a mis hermanos Jesús, Fabrizio, Jorgitto, quienes me brindaron su ayuda, su apoyo incondicional para poder concluir mis estudios universitarios.

## **AGRADECIMIENTO.**

Agradezco en primer lugar a Dios por darme el don de la vida, por haberme dado salud, la oportunidad de estudiar y permitir haber logrado terminar esta investigación.

También agradecer de todo corazón a Jesús, nuestro Señor, porque lo conocí en este camino universitario y me ayudó mucho, bendiciendo a mi familia con salud, paz, amor y porque pude conocer a personas que me guiaron en este camino, y me hizo comprender que sus tiempos son perfectos. Su amor está presente en cada momento, en cada detalle, quiero agradecerle de todo corazón por este trabajo de investigación, por cada bendición, porque siempre estuvo conmigo. Gracias totales Rey de Reyes. Honor y Gloria ti.

En segundo lugar, agradecerles a mis queridos padres por darme su total respaldo y apoyo a pesar de todas las dificultades que se pudieron presentar en este camino un poco largo.

En tercer lugar, agradecer a mi asesor el Ing. Edward Florencio Aurora Vigo, a los ingenieros Walter Símpalo López, Jorge Luis Leyva Piedra; y también a todos los docentes de la Escuela Académica Profesional de Ingeniería Agroindustrial y Comercio Exterior por todos los conocimientos que nos brindaron, y también a la Universidad por haber facilitado los laboratorios correspondientes para la investigación.

## INDICE

<b>I. INTRODUCCION.....</b>	<b>11</b>
<b>1.1. Realidad Problemática. ....</b>	<b>12</b>
<b>1.2. Trabajos Previos. ....</b>	<b>13</b>
<b>1.3. Teorías relacionadas al tema. ....</b>	<b>18</b>
1.3.1. Mora. ....	18
1.3.2. Compuestos fenólicos.....	21
1.3.3. Zumo de fruta .....	22
1.3.4. Tratamiento térmico .....	23
1.3.5. Modelo matemático de cinética de degradación.....	25
<b>1.4. Formulación del problema.....</b>	<b>26</b>
<b>1.5. Justificación e importancia de la investigación.....</b>	<b>26</b>
<b>1.6. Hipótesis.....</b>	<b>27</b>
<b>1.7. Objetivos.....</b>	<b>27</b>
1.7.1. Objetivo general .....	27
1.7.2. Objetivos específicos.....	27
<b>II. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>28</b>
<b>1.8. Tipo y diseño de investigación. ....</b>	<b>28</b>
1.8.1. Tipo de investigación. ....	28
1.8.2. Diseño de investigación.....	28
<b>1.9. Población y muestra.....</b>	<b>28</b>
1.9.1. Población. ....	28
1.9.2. Muestra. ....	28
<b>1.10. Variables y operacionalización. ....</b>	<b>28</b>
1.10.1. Variables.....	28
1.10.2. Operacionalización. ....	29
<b>1.11. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.</b>	<b>29</b>
1.11.1. Proceso de preparación de Mora .....	30
1.11.2. Análisis físico-químicos del zumo sin tratamiento térmico y pasteurizado.	32
1.11.3. Procedimiento de determinación de parámetros cinéticos. ....	32
<b>1.12. Procedimientos de análisis de datos.....</b>	<b>36</b>
1.12.1. Procedimientos. ....	36
1.12.2. Análisis de datos.....	40
<b>1.13. Criterios éticos. ....</b>	<b>40</b>
<b>1.14. Criterios de rigor científico. ....</b>	<b>41</b>
<b>III. RESULTADOS.....</b>	<b>42</b>
<b>1.15. Resultados en tablas y figuras.....</b>	<b>42</b>
1.15.1. Caracterización Fisicoquímica de Zumo de Mora.....	42
1.15.2. Cinética de degradación de fenoles de Zumo de Mora .....	42

1.15.3. Análisis estadístico del efecto de la pasteurización de zumo de mora en fenoles	46
1.15.4. Análisis microbiológico del efecto de la pasteurización de zumo de mora	48
<b>1.16. Discusión de resultados.....</b>	<b>56</b>
<b>IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>59</b>
1.17. Conclusiones.....	59
1.18. Recomendaciones.....	59
<b>V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>61</b>
<b>VI. ANEXOS.....</b>	<b>64</b>

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Composición química de las moras .....	20
<b>Tabla 2</b> Operacionalización de las variables independientes y dependientes.....	29
<b>Tabla 3</b> Determinación de fenoles totales.....	39
<b>Tabla 4</b> Caracterización físico-química del zumo de mora .....	42
<b>Tabla 5</b> Resultados obtenidos de concentraciones de fenoles (mg ac. Gálico / 100g) en los diferentes tratamientos térmicos para zumo de mora. ....	43
<b>Tabla 6</b> Comparación entre los modelos de orden cero y primer orden para describir la cinética de degradación de fenoles totales en el zumo de mora. ....	44
<b>Tabla 7</b> Parámetros cinéticos para la degradación de fenoles totales en el zumo de mora .....	45
<b>Tabla 8</b> Efectos estimados para la concentración de Vitamina C.....	46
<b>Tabla 9</b> Análisis de Varianza para la variable fenoles en el zumo pasteurizada de mora bajo el efecto de los tratamientos de Temperatura (A) y Tiempo (B).....	47
<b>Tabla 10</b> Matriz de tratamientos y respuesta de Mohos y Levaduras (ufc/mL).....	49
<b>Tabla 11</b> Análisis de Varianza para mohos y levaduras (ufc/mL).....	50
<b>Tabla 12</b> Coeficientes estadísticos.....	50
<b>Tabla 13</b> Prueba de Tukey – 20 días.....	54
<b>Tabla 14</b> Prueba de Tukey – 30 días.....	55

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Frutas de mora.....	19
<b>Figura 2</b> Diferentes curvas de supervivencia obtenidas en un tratamiento térmico isotérmico .....	24
<b>Figura 3</b> Proceso para la obtención de zumo de mora.....	31
<b>Figura 4</b> Diagrama de flujo para la determinación de los parámetros cinéticos de degradación térmica de fenoles. ....	33
<b>Figura 5</b> Diagrama de bloques para la determinación de fenoles totales. ....	36
<b>Figura 6</b> Diagrama de preparación de solución de Ácido Gálico 0.1 mg/ ml. ....	37
<b>Figura 7</b> Diagrama para la preparación de solución de carbonato de sodio anhidro 20% p/v .....	38
<b>Figura 8</b> Gráfico del comportamiento de fenoles totales vs la temperatura para zumo de mora.....	43
<b>Figura 9</b> Gráfico del comportamiento de fenoles totales vs la temperatura para zumo de mora ajustado a modelo de primer orden. ....	44
<b>Figura 10</b> Efecto de la temperatura y tiempo en el contenido de fenoles en zumo de mora.....	48
<b>Figura 11</b> Interacciones de la temperatura y tiempo de pasteurización del zumo de mora sobre la cantidad de mohos y levaduras en los 10 días de almacenamiento. ....	51
<b>Figura 12</b> Interacciones de la temperatura y tiempo de pasteurización del zumo de mora sobre la cantidad de mohos y levaduras en los 20 días de almacenamiento. ....	52
<b>Figura 13</b> Interacciones de la temperatura y tiempo de pasteurización del zumo de mora sobre la cantidad de mohos y levaduras en los 30 días de almacenamiento. ....	53
<b>Figura 14</b> Tratamientos de tiempos y temperaturas de pasteurización para zumo de mora en 20 días de almacenamiento.....	54
<b>Figura 15</b> Tratamientos de tiempos y temperaturas de pasteurización para zumo de mora a 30 días de almacenamiento.....	55
<b>Figura 16</b> Frutos de mora adquiridas para realización de investigación .....	64
<b>Figura 17</b> Acondicionamiento de frutos de mora.....	64
<b>Figura 18</b> Elaboración de curva patrón de ácido gálico para determinación de fenoles. ....	65
<b>Figura 19</b> Análisis espectrofotométrico para determinación de fenoles. ....	65



## RESUMEN

La presente investigación tuvo por objetivo evaluar el efecto de la pasteurización del zumo de mora, al ser tratada a distintos tiempos y temperaturas en la degradación de fenoles. La metodología experimental empleada fue un DCA con arreglo factorial; con niveles de temperatura de 75, 80, 85 °C y tiempos de 0, 3, 6, 9, 12 y 15 minutos respectivamente, en donde se evaluaron los fenoles para cada tratamiento y se caracterizaron los parámetros fisicoquímicos (%acidez, °Brix y pH) de la materia prima. Los resultados muestran un efecto negativo significativo de las variables temperatura y tiempo de pasteurización sobre los fenoles en el zumo de mora, ajustándose a un modelo de primer orden.

***Palabras Claves:*** Características fisicoquímicas, pasteurización, fenoles, mora.

## ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the effect of pasteurization of blackberry juice, when treated at different times and temperatures, on the degradation of phenols. The experimental methodology used was a DCA with factorial arrangement; with temperature levels of 75, 80, 85 °C and times of 0, 3, 6, 9, 12 and 15 minutes respectively, where the phenols were evaluated for each treatment and the physicochemical parameters were characterized (% acidity, °Brix and pH) of the raw material. The results show a significant negative effect of the temperature and pasteurization time variables on the phenols in the blackberry juice, adjusting to a first order model..

**Keywords:** *Physicochemical characteristics, pasteurization, phenols, blackberry*

## I. INTRODUCCION

Numerosos estudios epidemiológicos llaman la atención sobre la alta correlación entre una dieta basada en frutas y verduras y la menor incidencia de diferentes patologías crónicas, como diabetes, enfermedades cardiovasculares, enfermedades neurodegenerativas y cáncer. El efecto beneficioso de este patrón dietético se ha asociado principalmente al aporte de diferentes compuestos bioactivos, como flavonoides, fenoles, antocianinas y vitamina C. Los frutos rojos, especialmente las moras, han sido ampliamente estudiados por sus importantes efectos beneficiosos para la salud. Las moras son un grupo de interés por su alto contenido en vitamina C, folatos, antocianinas y elagitaninos, así como otros compuestos fenólicos que contribuyen a su alta capacidad antioxidante y efectos beneficiosos para la salud humana. Cada vez son más los estudios que indican los beneficios del consumo de frutos rojos para contrarrestar los procesos fisiopatológicos que predisponen a las personas a patologías crónicas, lo que justifica los estudios sobre este grupo de frutas a nivel mundial. (Alarcón, y otros, 2018)

El fruto de la zarzamora o mora (*Rubus* sp.) contiene altos niveles de antocianinas y otros compuestos fenólicos, principalmente flavonoles y elagitaninos, que contribuyen a su alta capacidad antioxidante y otras actividades biológicas. Se sabe que la composición y las concentraciones fenólicas de la zarzamora están influenciadas por la genética, las condiciones de crecimiento y la maduración. Los compuestos fenólicos de la zarzamora tienen efectos protectores sobre las enfermedades neurodegenerativas relacionadas con la edad y la pérdida ósea in vivo y pueden inhibir las lipoproteínas de baja densidad y la oxidación liposomal in vitro. Los extractos de mora también han ejercido efectos antimutagénicos in vitro e in vivo al modificar las vías de señalización celular y suprimir los factores de promoción de tumores. También se están investigando sus propiedades antiobesidad, antidiabéticas, antimicrobianas y antiinflamatorias de los compuestos fenólicos de la mora. Del mismo modo, son necesarios estudios que eluciden las concentraciones fisiológicamente efectivas in vivo de compuestos fenólicos de mora. (Kaume, Howard, & Devareddy, 2012)

En el Perú, esta fruta crece de manera silvestre en las zonas alto andinas de la parte norte y sur, hay que tener presente que no se han tomado en cuenta todos los compuestos

beneficiosos de esta fruta, desaprovechando así un fruto de alto valor nutricional. Mencionando lo descrito antes, se pudo realizar esta investigación donde se va a considerar los objetivos cómo, caracterizar fisicoquímicamente el fruto y evaluar el comportamiento de los compuestos fenólicos, expuestas a la pasteurización.

### **1.1. Realidad Problemática.**

La zarzamora o mora en el Perú, es una de las frutas que posee una variedad de compuestos bioactivos entre las que destacan vitaminas: C, E, A y complejo B, mencionando las principales como son niacina, tiamina, riboflavina; todas estas vitaminas hacen que este fruto sea de gran utilidad para que sea sometido a tratamientos, también para evitar las enfermedades circulatorias. Una de sus principales características de esta fruta es que contiene gran contenido de pigmentos naturales (antocianinas), éstas le van a conferir un color y sabor característico, también tienen antioxidantes que van a evitar enfermedades en el organismo. (Valencia & Guevara, 2013)

Las moras son una rica fuente de polifenoles que incluyen antocianinas, ETS, flavonoles, flavan-3-oles y procianidinas. Las bayas también contienen niveles apreciables de ácidos fenólicos y bajos niveles de lignanos. Los compuestos fenólicos totales en las moras oscilan entre 114 y 1056 mg/100 g. Además de la genética, la madurez de la fruta puede influir en los niveles de fenoles totales en las moras. Por ejemplo, el análisis de las bayas de tres cultivares de zarzamora, a saber, 'Chester Thornless', 'Hull Thornless' y 'Triple Crown', demostró que el contenido fenólico total disminuye significativamente a medida que la fruta madura desde la etapa verde hasta que madura. Sin embargo, en otro estudio que involucró moras de tierras altas tropicales, los niveles de fenoles totales fluctuaron a medida que la fruta maduraba de rojo claro (580 mg/100 g) a púrpura (460 mg/100 g) a púrpura azulado oscuro (520 mg/100 g). Además, de la variedad y grado de madurez, otro factor que podría influir en su contenido es la exposición a las altas temperaturas en procesos de producción y/o almacenamiento, por lo que es necesario evaluar estos efectos, a través del estudio de cinética de degradación. (Acosta-Montoya, y otros, 2019)

La mora en los últimos años en el Perú ha sido considerada como una maleza, es por tal motivo que se desconoce todo el potencial nutricional que posee, esta investigación tiene como motivo determinar la presencia de compuestos fenólicos que están presentes en la fruta, para determinar qué tan beneficiosos son para la salud, haciendo que esta materia prima sea muy conocida por el consumidor.

## 1.2. Trabajos Previos.

(Snoussi, y otros, 2022) investigaron el efecto del tratamiento térmico a diferentes temperaturas (70, 90 y 110 °C) a lo largo del tiempo (0–120 min) sobre el contenido fenólico y la actividad antioxidante del extracto etanólico de *Myrtus communis* L. en tampón de acetato (pH = 3). Los contenidos de fenoles totales, flavonoides y proantocianidinas y la actividad de eliminación de radicales, monitoreados durante el tratamiento, fueron significativamente influenciados por la temperatura aplicada ( $p < 0.05$ ). Cuanto mayor sea la temperatura y la duración del tratamiento, mayor será la degradación y la pérdida de estos compuestos. Asimismo, la actividad secuestrante de radicales DPPH· disminuyó, de manera dependiente de la temperatura, durante el tratamiento térmico. No obstante, los resultados de la prueba ABTS·+ mostraron que la actividad permaneció casi estable durante el tratamiento. Además, se investigó la cinética de degradación de los compuestos analizados por HPLC-DAD, a saber, miricetina-3-O-galactósido, quercetina-3-O-glucósido y quercetina-3-O-ramnósido y se determinó su energía de activación. La tasa de degradación en el caso de la quercetina-3-O-ramnósido fue la más sensible a la temperatura (20,536 kJ/mol), seguida de la miricetina-3-O-galactósido (12,268 kJ/mol) y la quercetina-3-O-glucósido (2,838 kJ). /mol). El uso del análisis discriminante ha demostrado que algunos otros factores además de la temperatura y el tiempo de tratamiento térmico también podrían tener una influencia menor en el contenido de fenoles totales, flavonoides totales, proantocianidinas y valores de las pruebas de antioxidantes (DPPH·, ABTS·+) en los extractos investigados de *M. communis* L.

(Oancea, y otros, 2018) evaluaron la cinética de degradación térmica y la caracterización fitoquímica del extracto de bayas de saúco. La pelargonidina-3-

soforósido y la delphinidina-3-glucósido se identificaron como los principales compuestos de antocianina y el hidrato de catequina como el principal compuesto flavonoide. Para comprender mejor la acción del tratamiento térmico sobre los compuestos bioactivos del extracto de saúco, también se llevaron a cabo estudios de fluorescencia. En general, el calentamiento a temperaturas que oscilan entre 100 y 150 °C durante un máximo de 90 minutos provocó una disminución en la intensidad de la fluorescencia, simultáneamente con desplazamientos al rojo significativos en  $\lambda_{max}$ , lo que sugiere cambios moleculares importantes dentro de la estructura de las antocianinas, lo que afecta la actividad antioxidante. Al aumentar el tiempo de calentamiento hasta 120 min, el extracto de saúco alcanzó su punto máximo a aproximadamente 88 nm y se desplazó hacia longitudes de onda más altas con respecto a las soluciones no tratadas (pico a 442 nm). Los estudios de cinética de antocianinas, intensidad de fluorescencia y actividad antioxidante evidenciaron una disminución de las constantes de velocidad de degradación con el aumento de la temperatura, mientras que las energías de activación para la intensidad de fluorescencia inducida por calor, las antocianinas monoméricas y la actividad antioxidante fueron  $39,62 \pm 9,60$ ,  $49,97 \pm 5,61$  y  $31,04 \pm 19,92$  kJ/mol, respectivamente. Los resultados pueden ser valiosos en términos de establecer los protocolos de formulación y procesamiento apropiados que podrían conducir a una utilización más eficiente de estos pigmentos en productos alimenticios y/o nutracéuticos reales.

(Oancea, Turturică, Bahrim, Râpeanu, & Stănciuc, 2017) estudio la cinética de degradación de los polifenoles durante el tratamiento térmico de soluciones de extracto de cereza agria calentadas a temperaturas que oscilan entre 100 y 160 °C. El estudio incluye un estudio comparativo de la cinética de fitoquímicos, como antocianinas, polifenoles totales y flavonoides en correlación con los cambios en la actividad antioxidante. Los cambios inducidos por el calor en las antocianinas también se evaluaron utilizando la técnica de espectroscopia de fluorescencia. Por lo tanto, se han estudiado los espectros de emisión de fluorescencia del extracto a pH 3,5 en solución acuosa. Las excitaciones de fluorescencia más eficaces se produjeron en un máximo de absorción UV de 270 nm, mientras que el extracto exhibió un máximo de emisión de fluorescencia a 320 nm. Cuando se excitó a 270 nm, se registró una disminución significativa en la intensidad de la fluorescencia por encima de los

130 °C, mientras que el  $\lambda_{\text{max}}$  tuvo valores constantes alrededor de los 320 nm. Se midió una segunda banda de emisión centrada en alrededor de 375 nm a una temperatura superior a 130 °C. Se discute la cinética de degradación en términos de constante de velocidad de reacción y energía de activación. Se evidenció un aumento en la constante de velocidad de degradación con el aumento de la temperatura. Las energías de activación estimadas fueron  $74,23 \pm 3,17$ ,  $54,19 \pm 5,88$ ,  $38,38 \pm 3,78$  y  $31,47 \pm 3,51$  kJ/mol para cambios inducidos por calor en la intensidad de la fluorescencia a longitudes de onda de excitación de 270 nm, antocianinas monoméricas, contenido total de flavonoides y actividad antioxidante, respectivamente.

(Turturică, Stănciuc, Bahrim, & Râpeanu, 2016) investigaron el efecto del tratamiento térmico sobre la degradación de los compuestos polifenólicos en el extracto de ciruela en el rango de 70-110°C mediante espectroscopía de fluorescencia y técnicas espectrofotométricas. Los resultados de fluorescencia sugirieron que el extracto de ciruela representa un sistema multicomponente con diferentes especies de fluorescencia. El calentamiento del extracto de ciruela resultó en cambios estructurales que condujeron a una disminución significativa en la intensidad de la fluorescencia a una temperatura más alta cuando las soluciones se excitaron a 300 nm, mientras que, cuando se excitaron a 410 nm, se midió un aumento significativo en la intensidad de la fluorescencia en el rango de temperatura de 70 y 110°C. Las constantes de velocidad de degradación se estimaron utilizando un modelo cinético de primer orden. La dependencia de la temperatura de las constantes de velocidad de degradación se expresó de acuerdo con el modelo de Arrhenius. Las antocianinas monoméricas totales mostraron la mayor degradación en comparación con otros polifenoles, así como con la actividad antioxidante.

(Lago & Noreña, 2017) investigaron la cinética y la termodinámica de la degradación de los fenoles y la cinética de la degradación de la diferencia de color total de las microcápsulas de jugo de yacón producidas mediante secado por aspersión utilizando goma arábiga y polidextrosa como materiales de pared. La degradación de la microcápsula se evaluó mediante pruebas aceleradas en condiciones controladas a 35 y 45 °C, y humedad relativa de 75 y 90 %, durante 35 días. La degradación de fenoles siguió el modelo de primer orden y la constante de degradación estuvo en el

rango de 0.0124–0.0209 días<sup>-1</sup>. Las micropartículas con goma arábiga fueron más estables que las de povidona para todas las condiciones estudiadas, con vidas medias más prolongadas. Ambos materiales de pared mostraron características termodinámicas similares, lo que indica un mecanismo similar de degradación de los fenoles. Con respecto a los parámetros de color, el modelo de primer orden se ajustó a los datos de diferencia de color total, no observándose diferencias significativas para las condiciones estudiadas.

(Ouyang, Cao, Huang, & Wang, 2021) investigaron los efectos del secado con aire caliente (60–100 °C, 1,5 m/s, 6–17 h; los productos finales contenían 10,50 ± 0,29 % de humedad) en los niveles de compuestos fenólicos totales (TPC), incluidos los compuestos fenólicos solubles (SPC) y compuestos fenólicos insolubles (IPC), así como ácido ascórbico en rodajas de calabaza. El IPC representó un promedio del 74,9 % del TPC en la pulpa de calabaza fresca, pero solo representó del 49,4 % (100 °C de secado) al 59,7 % (60 °C de secado) del TPC en las rebanadas finales de calabaza seca. A medida que aumentaba la temperatura de secado, la retención de IPC (22,8–42,7 %), TPC (41,6–50,9 %) y ácido ascórbico (22,2–51,0 %) en los productos secos disminuyó significativamente ( $p < 0,05$ ), pero la retención de SPC (74,5–92,7%) aumentó significativamente, lo que puede deberse a una mayor conversión de IPC a SPC a una temperatura más alta. La degradación del ácido ascórbico durante el secado con aire caliente se ajustó bien a la función cinética de primer orden ( $R^2 = 0,985–0,999$ ), y la de IPC, SPC y TPC se ajustó bien a las reacciones de orden cero ( $R^2 = 0,887–0,997$ ). A diferencia de los otros tres compuestos, el nivel reducido de SPC disminuyó a medida que aumentaba la temperatura ( $k = 0,008–0,029/h$ ,  $E_a = 33,7$  kJ/mol), lo que corresponde a una mayor retención de SPC en las rodajas finales de calabaza seca.

(Veliz Sedano, Espinoza Silva, & Quispe Solano, 2022) evaluaron la cinética de degradación de antocianinas manoméricas (tacs) del néctar de zarzamora silvestre sp. por tratamiento térmico a partir de dos estados de madurez del fruto para lo cual se trabajó con pulpa en zarzamora en estado pintón y maduro, a los que se estandarizó con agua en una dilución 1:2 ajustando el pH a 3.5 y 13°Brix. El producto fue pasteurizado a temperaturas de 70°C, 80°C y 90°C por espacio de 5 y 10 minutos.



Luego se procedió a la cuantificación de antocianinas monoméricas a medida que se incrementa el tiempo y la temperatura disminuye siguiendo una cinética de degradación de forma lineal ( $r^2=0.8543$ ) para el néctar con pulpa de zarzamora madura (M) y forma polinómica ( $r^2=0.9065$ ) para el néctar zarzamora fisiológicamente maduro (FM). Así mismo se ha encontrado una correlación positiva entre la capacidad antioxidante y tacs ( $r=0.795$ ) para el néctar con pulpa (FM) y una correlación positiva significativa ( $r=0.831^*$ ) entre la capacidad antioxidante y tacs para el néctar con pulpa (M). Por último, el producto fue sometido a una evaluación sensorial encontrándose que en néctar a partir de la pulpa FM no existe diferencia significativa ( $p=0.314$ ) mientras que en el néctar a partir de la pulpa M existe diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) en cuanto a su apariencia general.

(D'Agostino, Sicari, Giuffrè, & Soria, 2022) en su investigación determinaron los estándares de calidad correspondientes para promover la comercialización de moras *Rubus ulmifolius* Schott (Rosaceae) de Calabria (Italia). Los datos sobre la composición de volátiles recopilados por microextracción en fase sólida (SPME) seguida de GC-MS se han complementado con el estudio por primera vez de parámetros fisicoquímicos y capacidad antioxidante de moras silvestres y cultivadas recolectadas en siete lugares diferentes de Calabria. Los frutos silvestres mostraron un contenido de materia seca significativamente mayor (16,34-22,14 %) y pH (3,92-5,12) y una acidez total más baja (0,23-0,74 como % de ácido cítrico) en comparación con la muestra cultivada (materia seca: 15,31 %; pH: 3,30). y acidez total: 1% de ácido cítrico), mientras que el color y los sólidos solubles totales fueron similares. La capacidad antioxidante (ensayo DPPH) de las moras silvestres, correlacionada ( $r = 0,71$ ) con los resultados del ensayo ABTS, fue significativamente mayor ( $SE_{50} = 1,6-3,4$  mg DW), de acuerdo con su mayor contenido de antocianinas totales y fenoles totales. El etanol (11,8-32,4 %), el trans-2-hexenal (2,7-21,3 %), el metilbutanal (5,7-17,4 %) y el acetato de etilo (4,6-11,9 %) fueron los compuestos principales tanto en las moras silvestres como cultivadas.

### **1.3. Teorías relacionadas al tema.**

#### **1.3.1. Mora.**

Las moras son frutas de temporada que, en las condiciones climáticas probadas, alcanzan su madurez tecnológica desde mediados de julio hasta finales de septiembre dependiendo de la variedad, ubicación, condiciones climáticas, etc. Por su alto contenido en componentes antioxidantes, las moras son reconocidas como frutas con alto potencial para prevenir una serie de enfermedades degenerativas. Los antioxidantes son sustancias que, en pequeñas cantidades, tienen la capacidad de donar un electrón o un átomo de hidrógeno a un radical libre; pueden quelar cationes metálicos y formar así una molécula estable. La mora (*Rubus fruticosus* L.) es una fruta que no es adecuada para conservarse más tiempo en estado fresco, por ello se debe aplicar frío o procesar luego de la cosecha. (Jazic, Kukric, Vulic, & Cetojevic, 2019)

Las frutas de zarzamora (*Rubus* sp) son una gran fuente de antioxidantes naturales, particularmente antocianinas y ácidos fenólicos, que han demostrado estar asociados con beneficios para la salud, como propiedades antioxidantes, anticonvulsivas y antiinflamatorias. Las moras son nativas de Asia, Europa, América del Norte y del Sur y la mayoría de los cultivares tienen un perfil de crecimiento específico relacionado con la edafología y el clima de regiones específicas. Esta fruta se puede procesar en diversos productos alimenticios como jugos, purés, conservas de frutas, néctar y mermeladas, que además son una alternativa para prolongar su vida útil, disponibilidad y el consumo de moras. Por otro lado, el procesamiento y el almacenamiento pueden tener efectos notables en el contenido fenólico de las frutas y, por lo tanto, pueden reducir o incluso aumentar sus propiedades beneficiosas para la salud. (Da Silva, y otros, 2018)

**Figura 1** Frutas de mora



*Nota.* La figura muestra los frutos de mora, cosechadas en el Perú

#### **1.3.1.1. Composición nutricional.**

La composición química de la zarzamora varía según la variedad, las condiciones de crecimiento, el estado de madurez y las condiciones de cosecha y almacenamiento. Además de valiosos compuestos polifenólicos, las moras contienen carbohidratos y varias vitaminas y minerales esenciales. Los azúcares principales en las moras son glucosa, fructosa y sacarosa, y sus proporciones difieren entre cultivares (Tabla 1). Los azúcares principales son la glucosa y la fructosa en proporciones de aproximadamente 3,24 2,88 y 0,81 1,17 g/100 g de peso fresco (FW) de glucosa a fructosa. El contenido de sacarosa se estima en 0,24 g/100 g FW. Los niveles de glucosa, fructosa, azúcares totales y sólidos solubles totales aumentan notablemente a medida que la fruta madura desde el rojo claro hasta el púrpura azulado oscuro. Las moras contienen ácido málico como ácido orgánico primario, aunque se han detectado en la fruta diferentes ácidos, incluido el ácido ascórbico (280 mg/100 g ácido málico; 293 mg/100 g ácido lactoisocítrico; 599 mg/100 g ácido isocítrico; y 572 mg/100 g de ácido cítrico). Estos ácidos orgánicos en las moras son importantes para estabilizar las antocianinas y el ácido ascórbico y prolongar la vida útil de las bayas frescas y procesadas. (Fan-Chiang & Wrolstad, 2010)

Los compuestos fenólicos totales en las moras oscilan entre 114 y 1056 mg/100 g. Además de la genética, la madurez de la fruta puede influir en los niveles de fenoles totales en las moras. Por ejemplo, el análisis de las bayas de tres cultivares de zarzamora, a saber, 'Chester Thornless', 'Hull Thornless' y 'Triple Crown', demostró que el contenido fenólico total disminuye significativamente a medida que la fruta madura desde la etapa verde hasta que madura. Sin embargo, en otro estudio que involucró moras de tierras altas tropicales, los niveles de fenoles totales fluctuaron a medida que la fruta maduraba de rojo claro (580 mg/100 g) a púrpura (460 mg/100 g) a púrpura azulado oscuro (520 mg/100 g).

**Tabla 1** Composición química de las moras

Análisis Proximal		Vitaminas		Minerales	
Agua (g)	88.20	Ácido Ascórbico (mg)	21.00	Calcio (mg)	29.00
Energía (kcal)	43.00	Tiamina (mg)	0.02	Hierro (mg)	0.62
Proteína (g)	1.39	Riboflavina (mg)	0.03	Magnesio (mg)	20.00
Lípidos (g)	0.49	Niacina (mg)	0.65	Fosforo (mg)	22.00
Ceniza (g)	0.37	Ácido pantoténico (mg)	0.28	Potasio (mg)	162.00
Carbohidratos (g)	9.61	Vitamina B6 (mg)	0.03	Sodio (mg)	1.00
Fibra (g)	5.30	Ácido fólico (ug)	25.00	Zinc (mg)	0.53
Azúcares (g)	4.88	Vitamina A (IU)	214.00	Cobre (mg)	0.17
Sacarosa (g)	0.07	$\alpha$ -tocoferol (mg)	1.17	Manganeso (mg)	0.65
Glucosa (g)	2.31	$\beta$ -tocoferol (mg)	0.04	Selenio (mg)	0.40
Fructosa (g)	2.40	$\gamma$ -tocoferol (mg)	1.34		
Maltosa (g)	0.07	$\Delta$ -tocoferol (mg)	0.90		
Galactosa (g)	0.03	Vitamina K ( $\mu$ g)	19.80		

*Nota.* Base de datos de nutrientes del Departamento de Agricultura de EE. UU.

### **1.3.1.2. Situación actual de la mora en el Perú.**

En el Perú existe una tendencia por el producción y exportación de berries, en la que destacan los arándanos y uvas (liderando a nivel mundial como un principal productor), sin embargo, la mora aún falta más interés en invertir en su producción e industrialización, a pesar de existir programas de apoyo como sierra y selva exportadora, no se ha mostrado un desarrollo, por el contrario, un crecimiento de manera silvestre. Es por ello, la necesidad de invertir apostar por diversificar la oferta exportable del Perú, con este producto que ofrece destacadas ventajas nutricionales, económicas y comerciales. Además, es una ventaja para el Perú, la producción de berries es en contra estación de los otros países productores, por lo que se tiene precios altos, y gran demanda mundial. Son las pymes, las que deberían ser las forjadoras de su producción y comercialización mundial. Las principales zonas productoras son pertenecientes a la zona andina, destacando los departamentos de Cajamarca, Cusco, Arequipa, Ancash, Apurímac y Junín (Gestión, 2017)

### **1.3.2. Compuestos fenólicos.**

La continua demanda de una dieta rica en nutrientes en la sociedad contemporánea consciente de la salud ha llevado a un consumo creciente de alimentos ricos en polifenoles. Los compuestos de polifenoles forman una parte importante del grupo bioactivo. Estos compuestos son una familia diversa que tiene más de un grupo hidroxilo con una estructura que va desde una molécula simple hasta un polímero complejo. Los compuestos están naturalmente presentes en pequeñas cantidades en varios alimentos, arbustos y plantas medicinales como el té, las uvas, las verduras, el vino, los cereales, el café, el eucalipto y el neem. Los polifenoles poseen propiedades antioxidantes, anticancerígenas, antiinflamatorias y antimicrobianas. La familia polifenólica ha desempeñado un papel integral en el sector farmacéutico, alimentario y nutracéutico. Tienen potencial para abordar enfermedades relacionadas con la salud y pandemias como la COVID-19. (Sridhar, y otros, 2021)

Los compuestos fenólicos (PC) son una de las clases de moléculas bioactivas que tienen beneficios para la salud, son considerados antioxidantes debido a la donación de un átomo de hidrógeno y/o un electrón por parte de las moléculas, a los radicales libres, provocando la ruptura de la reacción en cadena de la oxidación, por lo que el efecto antioxidante depende del número y posición del grupo hidroxilo. También, presenta actividades antiinflamatorias, antimicrobianas, antiproliferativas.

### **1.3.3. Zumo de fruta**

El consumo de jugo se ha documentado desde tiempos inmemoriales, y la primera referencia se menciona en escrituras védicas o griegas antiguas, egipcias o prerromanas, pero la palabra "jugo" que significa "la parte acuosa de las frutas" se registró por primera vez a principios del siglo XIV. Una definición más reciente de la Comisión del Codex Alimentarius es que "jugo de fruta es el líquido no fermentado pero fermentable obtenido de la parte comestible de fruta sana, debidamente madura y fresca o de fruta mantenida en buen estado por medios adecuados, incluidos los tratamientos superficiales poscosecha aplicados en conformidad con las disposiciones aplicables de la Norma General del Codex (Codex Alimentarius, 2005). Sin embargo, en el sentido más general, el jugo de frutas puede definirse como un extracto o un contenido de fluido extraíble de células o tejidos obtenido por exprimido o prensado mecánico del líquido natural contenido en frutas maduras sin usar calor ni solventes.

Hoy en día, las personas elijen productos que sean saludables y nutritivos, y que se ajusten a su ajetreado estilo de vida, por lo que la atención se ha centrado en el uso de bebidas con sabores naturales en lugar de artificiales. Los jugos de frutas son, por lo tanto, una opción popular de bebida entre los consumidores, son naturales y se consideran saludables, y juegan un papel importante en la dieta humana. Además de los macronutrientes y micronutrientes, los jugos de frutas también son una rica fuente de compuestos nutraceuticos que pueden proporcionar una mejor inmunidad y otros beneficios para la salud. De acuerdo con el Servicio Nacional de Salud (Reino Unido), una persona debe consumir cinco porciones recomendadas de una variedad de

frutas y verduras al día (cinco al día), donde un vaso de 150 ml de jugo 100 % de frutas o verduras sin azúcar cuenta como una porción (una de tus cinco al día). El jugo puede ser turbio o claro, y consiste en un 100 % de fruta pura, y puede contener sustancias aromáticas y componentes de sabor de la misma fruta. El jugo también se puede complementar con pulpa y células obtenidas por medios físicos apropiados de la misma fruta, pero por lo general no debe contener conservantes, azúcares, sabores artificiales ni ningún otro ingrediente agregado. (Rajauria & K.Tiwari, 2018)

#### **1.3.4. Tratamiento térmico**

El tratamiento térmico tiene efectos beneficiosos y perjudiciales en un producto, por un lado, inactiva las esporas, microorganismos y enzimas presentes en los productos alimenticios que tienen un impacto negativo en la salud del consumidor y la seguridad del producto. Por otro lado, disminuye la concentración de nutrientes inestables a altas temperaturas, como proteínas de la dieta y vitaminas (retinol, tiamina, ácido fólico, ácido ascórbico, calciferol y otros). Por lo que es necesario encontrar parámetros óptimos de temperatura y tiempo para el tratamiento térmico. (Zhuk, A., A., Kuranova, & Grokhovsky, 2021)

El tratamiento térmico es uno de los métodos preferidos para la destrucción de bacterias patógenas y de descomposición. Por lo general, se supone que, a temperatura constante, la muerte térmica de las bacterias es exponencial con el tiempo, y los cálculos de procesos térmicos utilizados en la industria de procesamiento de alimentos se basan en esta suposición. A pesar del uso generalizado del enfoque, se ha reconocido en gran medida que existen situaciones en las que las curvas de supervivencia de muchas bacterias y otros microorganismos después de tratamientos térmicos y no térmicos no siguen la relación exponencial. (Campanella, 2016)

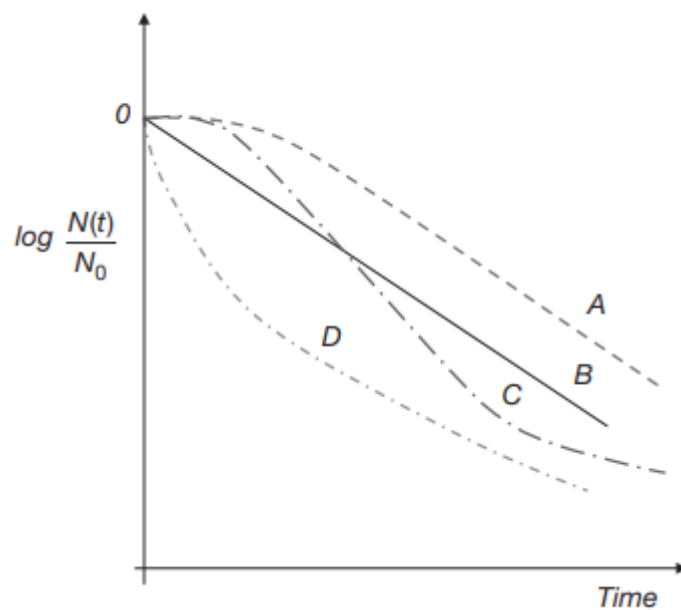
Las curvas de supervivencia se representan como el logaritmo decimal de la relación entre el número de microorganismos en un momento determinado,  $N(t)$ , y el número inicial de microorganismos,  $N_0$ , en función del tiempo  $t$ . Desde 1912 se han reconocido cuatro tipos de curvas de

supervivencia; se ilustran en la Figura 2. Dado que, en un tratamiento térmico, el número de microorganismos disminuye con el tiempo, la relación  $N(t)/N_0$  es menor que 1, por lo que los valores logarítmicos decimales de esa relación son siempre negativos. (Campanella, 2016)

### Figura 2

*Diferentes curvas de supervivencia obtenidas en un tratamiento térmico isotérmico*

**Figura 2** Diferentes curvas de supervivencia obtenidas en un tratamiento térmico isotérmico



*Nota.* El gráfico muestra los distintos modelos de comportamiento de tratamiento térmico de alimentos.

La curva A es la curva de supervivencia que se encuentra con mayor frecuencia y muestra un retraso inicial en la muerte bacteriana seguido de un decaimiento exponencial (decaimiento logarítmico lineal), mientras que la curva C es similar, pero incluye una cola, que se supone que se debe a la presencia de poblaciones altamente resistentes. Las curvas de supervivencia como la representada por la curva D indican la presencia de poblaciones que tienen diferentes resistencias al calor. (Campanella, 2016)

#### 1.3.4.1. Pasteurización.



La pasteurización (a menudo también llamada pasteurización de tiempo corto a alta temperatura, HTST) tiene como objetivo reducir la cantidad de microorganismos patógenos a un nivel en el que no pueda surgir un peligro significativo para la salud del público, lo que resulta en una vida útil de aproximadamente diez días en condiciones de refrigeración. Además de la pasteurización suave HTST, la alta pasteurización (o pasteurización a alta temperatura) a temperaturas de  $\geq 85^{\circ}\text{C}$  durante  $>5$  s también es un procedimiento posible. Por el contrario, se puede lograr una vida útil de hasta seis meses en condiciones ambientales utilizando un tratamiento de temperatura ultra alta (UHT) con temperaturas de  $135^{\circ}\text{C}$  durante unos segundos. El tramo entre la pasteurización y el tratamiento UHT se conoce como “vida útil extendida” (ESL) y garantiza una estabilidad prolongada de 25 a 27 días, pero también se reportaron 30 días de tiempo de almacenamiento utilizando tecnologías de microfiltración, e incluso hasta 60 días en condiciones de refrigeración. (Van den Oever & Hong Kong, 2021)

La pasteurización es un método físico más importante para aumentar la vida útil de los alimentos. También puede combinarse con otros factores de estrés físico o químico para lograr la estabilidad microbiológica de los alimentos, provocando la menor destrucción posible de la calidad. La pasteurización de alimentos es una tecnología de conservación más extendidas para prolongar la vida útil de los alimentos mediante la inactivación de microorganismos y enzimas que pueden deteriorar los alimentos. La intensidad del tratamiento térmico aplicado depende del tipo de producto alimenticio, la calidad de las materias primas empleadas, el pH, las condiciones de transporte y almacenamiento y la zona geográfica de venta. El impacto del tratamiento térmico en la seguridad y la calidad de un producto depende de la velocidad de las reacciones inducidas por el calor, y el tiempo de proceso del tratamiento puede tener un impacto fuerte y negativo en la calidad de los alimentos procesados. (Rodrigo, Tejedor, & Martínez, 2015)

### **1.3.5. Modelo matemático de cinética de degradación.**

Muchos alimentos que contienen polifenoles se procesan térmicamente antes de su consumo, lo que influye en gran medida en el contenido de antocianinas en el producto final. Sin embargo, es necesario un método de procesamiento térmico para prolongar la vida útil de los productos a base de frutas. El procesamiento térmico involucra temperaturas de 50 a 150 ° C, según el pH del producto y la vida útil deseada, e implica un breve calentamiento antes del procesamiento adicional para mejorar los atributos de calidad y seguridad. La estabilidad de los fenoles está en función de la temperatura de procesamiento, pero también está influenciada por las propiedades del producto resultante y también debido a los parámetros del proceso completo, tales como: pH, temperatura de almacenamiento, estructura química y concentración de antocianinas, luz, oxígeno, enzimas, iones metálicos, etc. (Rein, 2005). Así, las combinaciones tiempo-temperatura, el tipo de hortalizas y el mantenimiento de la actividad enzimática tras el tratamiento pueden influir negativamente en la funcionalidad de los compuestos fenólicos por destrucción de ácidos fenólicos y antocianinas. (Turturică, Stănciuc, Bahrim, & Râpeanu, 2016)

#### **1.4. Formulación del problema.**

¿Cuál será el efecto de la pasteurización en cinética de degradación de fenoles del zumo de Mora?

#### **1.5. Justificación e importancia de la investigación.**

Esta investigación contribuirá a determinar los mejores parámetros de temperatura y tiempo en el tratamiento térmico, para obtener un producto de calidad, balanceando los efectos negativos como disminución de nutrientes (fenoles), y positivos como asegurar la seguridad alimentaria. Si bien es cierto, se conoce las calidades nutricionales (alto contenido en antioxidantes, vitaminas y fenoles), y de salud (debido a que el consumo de esta fruta reduce las enfermedades como el cáncer, enfermedades sanguíneas, etc) de la mora, aún, este fruto no se ha industrializado, su producción se da de manera silvestre. Es una gran necesidad, aumentar nuestra oferta exportable, con productos no

tradicionales; la mora, representa una gran oportunidad, es por ello, importante investigar su comportamiento a tratamiento térmicos. Cabe destacar, en nuestro país, existen pocos estudios sobre este fruto, entonces, esta investigación contribuirá a aumentar la bibliografía, y sea un primer punto de partida, para que micro y pequeños emprendedores logren producir y comercializar este producto.

## **1.6. Hipótesis.**

H<sub>1</sub>: Los parámetros de temperatura y tiempo de pasteurización del zumo de Mora permiten obtener una cinética de degradación térmica de fenoles ajustado a un modelo teórico de primer orden y de orden cero respectivamente.

H<sub>0</sub>: Los parámetros de temperatura y tiempo de pasteurización del zumo de Mora no permiten obtener una cinética de degradación térmica de fenoles ajustado a un modelo teórico de primer orden y de orden cero respectivamente.

## **1.7. Objetivos.**

### **1.7.1. Objetivo general**

Evaluar el efecto de la pasteurización en cinética de degradación de fenoles del zumo de Mora.

### **1.7.2. Objetivos específicos.**

Caracterizar fisicoquímicamente el zumo de Mora

Determinar el modelo y los parámetros cinéticos de degradación de fenoles del zumo pasteurizado de Mora.

Realizar un análisis microbiológico del zumo pasteurizado a diferentes tiempos de almacenamiento.

## **II. MÉTODO.**

### **1.8. Tipo y diseño de investigación.**

#### **1.8.1. Tipo de investigación.**

El tipo de investigación es experimental, ya que persigue el control de variables como son la temperatura y tiempo de pasteurización y como estas afectan en la cinética de degradación de fenoles del zumo de Mora.

#### **1.8.2. Diseño de investigación.**

Es cuantitativa porque se determinará el tiempo y temperatura de pasteurización del zumo de mora para determinar la cinética de degradación.

### **1.9. Población y muestra.**

#### **1.9.1. Población.**

Fruto de Mora, procedente de Tumbes, lo cual se utilizó 4 Kg de mora obteniendo un total de 1.6 Kg de zumo de mora, que viene a ser equivalente a 1.5 litros de zumo de mora.

#### **1.9.2. Muestra.**

En la siguiente investigación se obtuvo una cantidad total de 81 muestras realizadas.

### **1.10. Variables y operacionalización.**

#### **1.10.1. Variables.**

##### **Variables Independiente.**

- Tiempo.
- Temperatura (°C).

### **Variables Dependiente.**

- Análisis fisicoquímicos.
- Análisis microbiológicos.
- Análisis de cinética para fenoles.

### **1.10.2. Operacionalización.**

En la tabla 1 se indican la Operacionalización de las variables dependientes e independientes del presente estudio.

**Tabla 2** Operacionalización de las variables independientes y dependientes.

<b>Variable Independiente</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Técnicas e instrumentos de Recolección de datos</b>
Temperatura pasteurización	75, 80, 85	°C	Termometría.
Tiempo de pasteurización	0, 3, 6, 9, 12 15	Minutos	Cronometría
<b>Variable Dependiente</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Técnicas e instrumentos de Recolección de datos</b>
Contenido de fenoles		mg equivalentes de ácido gálico (GAE)/g de EEP	Método espectrofotométrico
Parámetros cinéticos		Velocidad de degradación Energía de activación (J/kmol)	Modelo matemático Cinética de degradación

*Nota.* Elaboración propia.

### **1.11. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.**

### **1.11.1. Proceso de preparación de Mora**

Para que esta investigación se empleó como materia prima Mora (Rubus), que han sido adquiridos del mercado local.

Recepción/Pesaje: Las frutas fueron recepcionadas y pesadas, para realizar los balances de materia respectivos.

Selección: Esta etapa se realizó en una mesa de acero inoxidable, donde serán seleccionados los frutos sanos, evitando el uso de los frutos excesivamente verdes y estropeados.

Lavado y Sanitización: El proceso se llevó a cabo en dos etapas: la primera se roció directo de chorros de agua, para retirar el exceso de suciedad. La segunda etapa se realizó la inmersión de los frutos en baldes, con agua clorada a 100 ppm por 5 minutos.

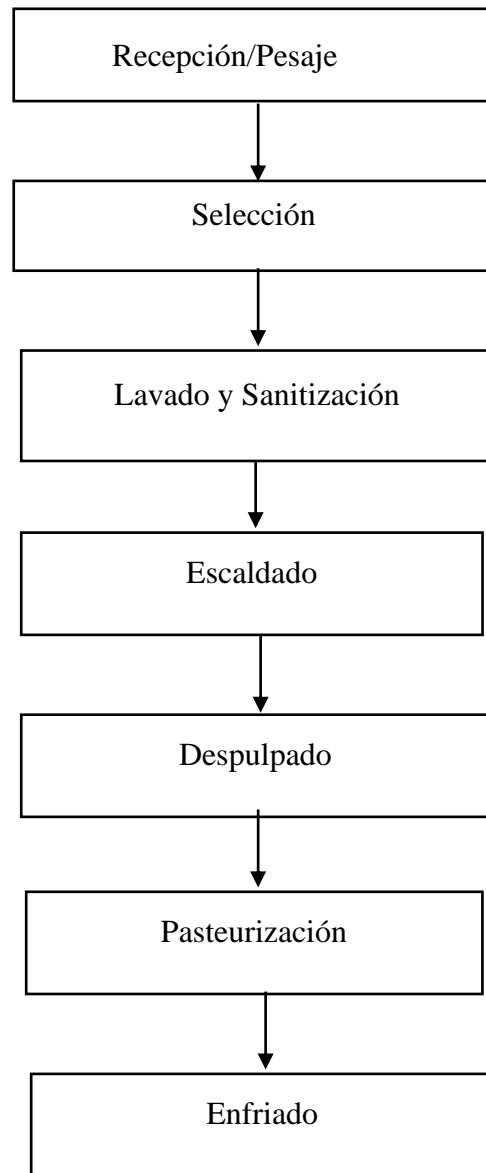
Escaldado: Se realizó con agua a 85°C y durante un tiempo de 50 segundos, con una proporción agua/fruta de 1:5, con la finalidad de ablandar los tejidos para el proceso de pulpeado

Despulpado: Se realizó la eliminación de la cáscara. Luego se procedió a licuar la pulpa y refinar en una malla. Se evaluó las propiedades fisicoquímicas y fenoles del zumo de mora al inicio.

Pasteurización: Se preparó en vaso precipitado zumo de mora y se llevó a baño maría a distintos niveles de temperatura (75, 80 y 85°C) y se controló el tiempo (0, 3, 6, 9, 12 y 15 minutos) según los tratamientos experimentales diseñados. Cumplido el tiempo, las muestras fueron enfriadas con agua fría, y almacenadas en recipientes asépticos para su posterior análisis de sus propiedades fisicoquímicas, microbiológicas y fenoles.

**Figura 3** Proceso para la obtención de zumo de mora.

**Diagrama de Flujo para el zumo de mora**



*Nota.* Elaboración propia.

### **1.11.2. Análisis físico-químicos del zumo sin tratamiento térmico y pasteurizado.**

Los análisis físicos químicos se realizaron por triplicado, según las referencias:

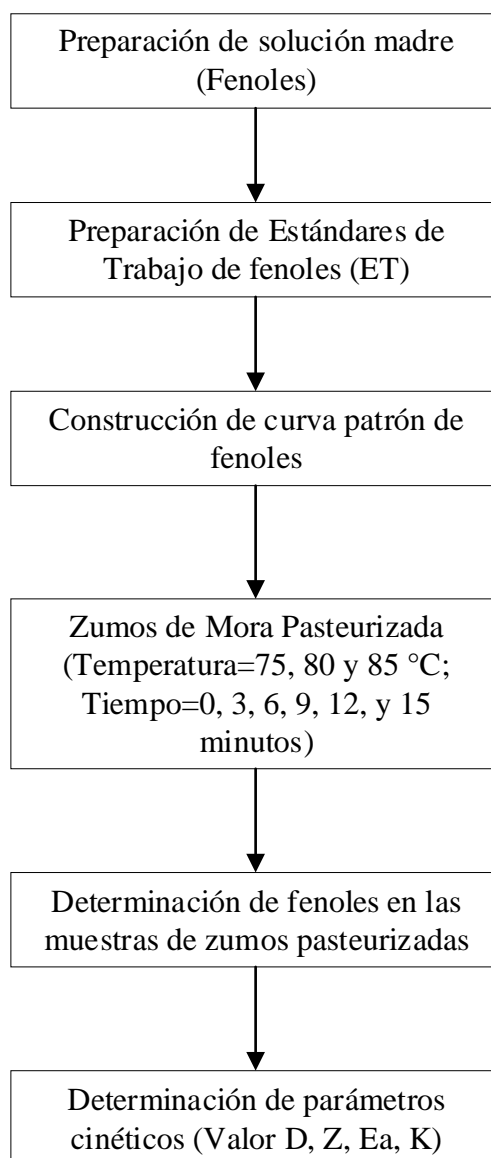
- pH: Medido en un pHmetro.
- Acidez Titulable expresada como % de ácido cítrico: Realizada según el método de la Association of Official Analytical Chemists (AOAC), conducida en pHmetro hasta alcanzar pH 8,2 referente al pH de cambio de coloración del indicador fenolftaleína. (AOAC, 1995).
- Sólidos solubles (°Brix): Medido en refractómetro, con correcciones de acidez y temperatura. (Kimball, 1991).

### **1.11.3. Procedimiento de determinación de parámetros cinéticos.**

En la figura 2 se observa el diagrama de flujo del proceso para obtener los parámetros cinéticos de degradación de fenoles en el zumo de mora. En primer lugar, se elaboró la curva patrón de fenoles, para ello, se tomó una alícuota de distintas concentraciones de fenoles químicamente puro, y se midió su absorbancia. En segundo lugar, con lo datos obtenidos se elaboró la curva patrón de fenoles, donde se analizó el coeficiente de correlación mayor a 0.9, lo que implicó un bien ajuste de los datos. En tercer lugar, se midió la absorbancia de las distintas muestras de zumo de mora pasterizadas según el diseño experimental (distintos niveles de temperatura de 75, 80 y 85°C y niveles de tiempo 0, 3, 6, 9, 12 y 15 minutos), y con la ayuda de la curva patrón, se determinó el contenido de fenoles.



**Figura 4** Diagrama de flujo para la determinación de los parámetros cinéticos de degradación térmica de fenoles.



*Nota.* Elaboración propia

Para determinar el comportamiento de degradación de fenoles del zumo de mora, se utilizó la ecuación de Arrhenius, mostrada a continuación:

#### Cinética de orden cero

$$c = -k \cdot t + c_0 \quad (1)$$

### Cinética de primer orden

$$\ln\left(\frac{c}{c_0}\right) = -k \cdot t \quad (2)$$

### Ecuación de Arrhenius

$$k = A_0 e^{-E_a/RT} \quad (3)$$

### Valor “D” parámetro cinético de degradación

$$D = \frac{\ln(10)}{k} \quad (4)$$

### Valor “t” parámetro cinético de degradación

$$t_{0.5} = \frac{-\ln(0.5)}{k} \quad (5)$$

### Valor “Q<sub>10</sub>” parámetro cinético de degradación

$$Q_{10} = \left(\frac{k_2}{k_1}\right)^{10/T_2-T_1} \quad (6)$$

### Valor “z” parámetro cinético de degradación

$$z = \frac{10 \ln(10)}{\ln Q_{10}} \quad (7)$$

Donde:

- k = velocidad constante de reacción expresada en min<sup>-1</sup>
- t = tiempo en minutos
- C = concentración de fenoles
- R = constante universal de los gases (1,987 cal/mol.K)
- E<sub>a</sub> = energía de activación en kcal/mol
- A = constante preexponencial
- T = temperatura absoluta en grados kelvin (K)
- D = reducción decimal;
- t<sub>0.5</sub> = tiempo requerido para reducir el 50% la concentración original de antocianinas, antioxidantes y fenoles
- Q<sub>10</sub> = cambio de la constante de velocidad de una reacción al aumentar la temperatura en 10°C;

- $z$  = constante de resistencia térmica.

Se determinó la cinética de degradación, ajustando a los modelos de orden cero y primer orden, para ello se ajustará los valores de fenoles del zumo pasteurizado en función del tiempo de tratamiento. Luego, se calculó las constantes de velocidad de degradación a partir de un ajuste de los datos, y se determinó el mejor ajuste según el coeficiente de correlación ( $R^2$ ). Posterior a ello, se determinó los parámetros “D”, “Z” para la degradación fenoles.

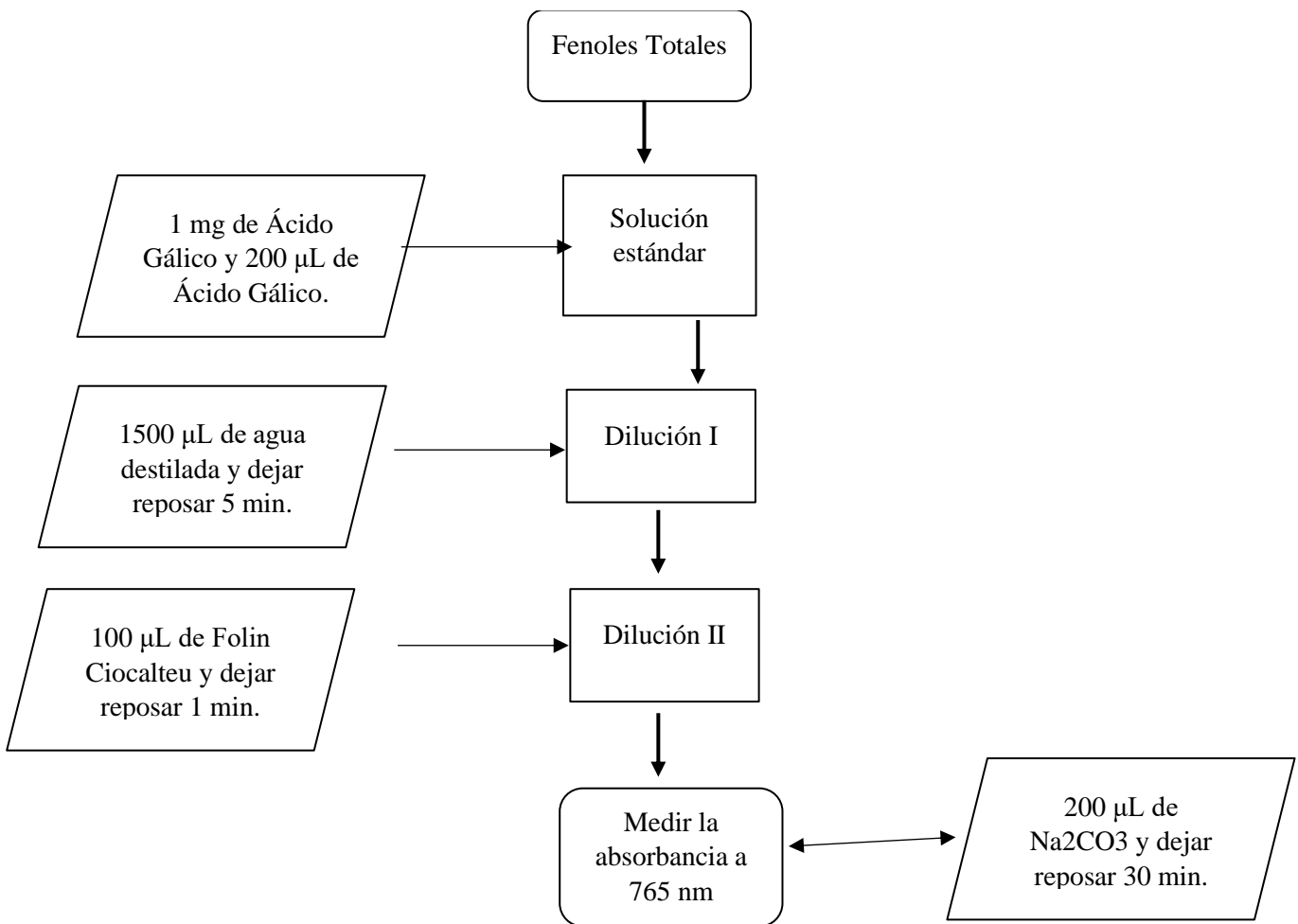
Finalmente, se determinó las energías de activación ( $E_a$ ) con las pendientes de la gráfica de Arrhenius del  $\ln(k)$  contra el inverso de la temperatura ( $1/T$ ) en K. Se utilizó el software Excel para los coeficientes de regresión, ajustando los modelos de cinética de degradación de fenoles del zumo de mora pasteurizado, y el software Design Expert v.7 para los análisis de varianza (ANOVA).

## 1.12. Procedimientos de análisis de datos.

### 1.12.1. Procedimientos.

#### A. Procedimiento para determinar Fenoles Totales.

**Figura 5** Diagrama de bloques para la determinación de fenoles totales.



*Nota.* Elaboración propia

## Descripción del proceso.

### Solución Estándar.

Diluir 1 mg de Ácido Gálico y 200  $\mu$ L de Ácido Gálico.

### Dilución I.

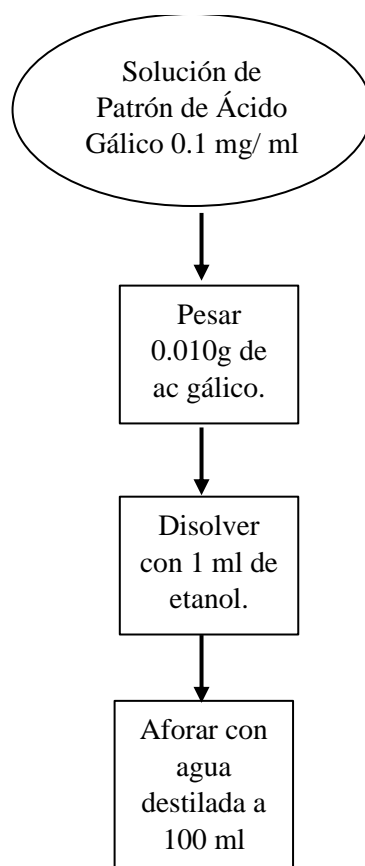
Se diluyó la solución estándar con 1500  $\mu$ L de Agua destilada y dejó reposar la solución por 5 min.

### Dilución II.

La dilución anterior se le adicionó 100  $\mu$ L de Folin Ciocalteu y después se dejó reposar por 1 min, después se le adicionará 200  $\mu$ L de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  y dejar reposar por 30 min, y se midió la absorbancia a 765 nm.

#### a. Solución patrón de Ácido Gálico 0.1 mg/ ml (100 ml).

**Figura 6** Diagrama de preparación de solución de Ácido Gálico 0.1 mg/ ml.



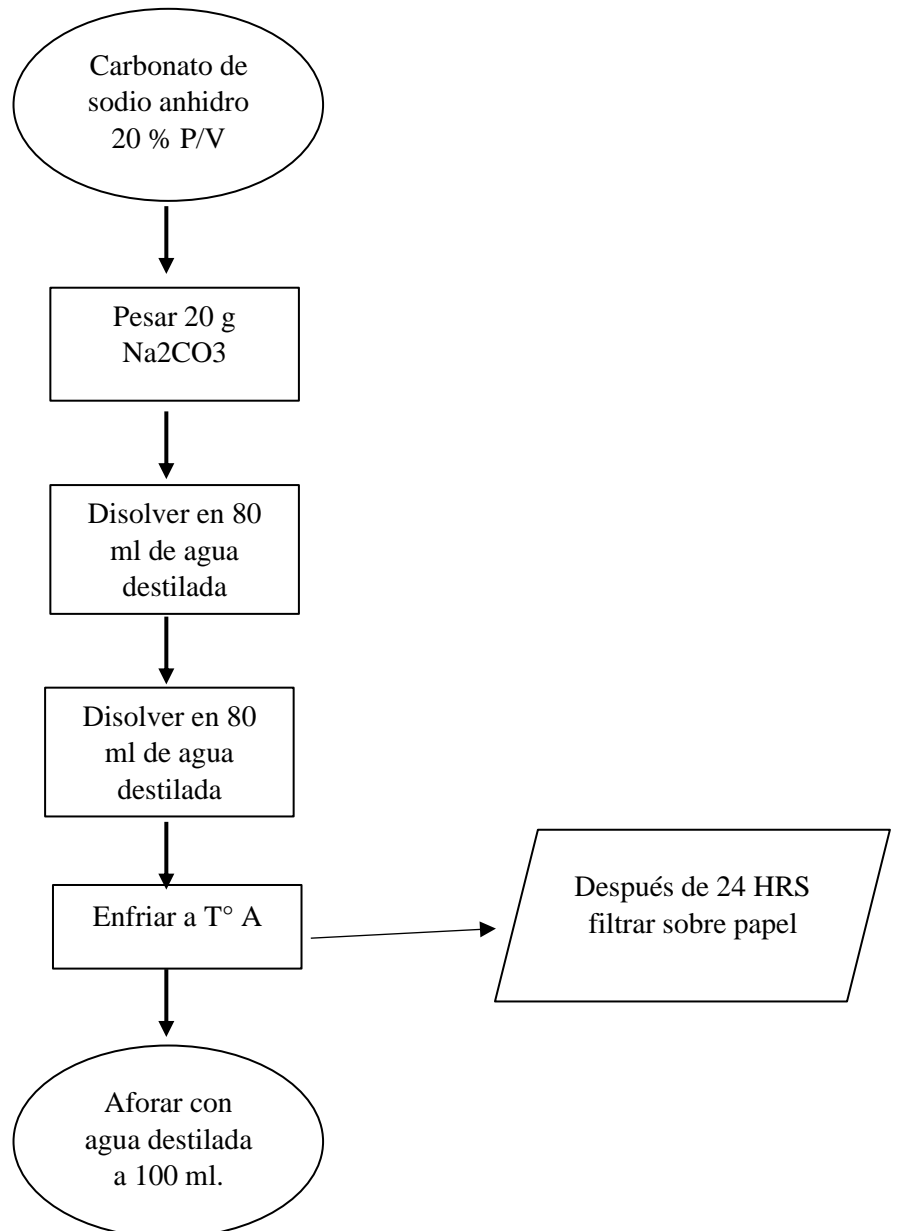
*Nota.* Elaboración propia.

b. **Reactivo Comercial de Folin – Ciocalteu (100 µL).**

c. **Agua destilada.**

d. **Carbonato de Sodio Anhidro 20% p/v (100 ml).**

**Figura 7** Diagrama para la preparación de solución de carbonato de sodio anhidro 20% p/v



*Nota.* Elaboración propia.

**Tabla 3** Determinación de fenoles totales.

N° de tubo	Ác. Gálico (mg/mL)	Ac. Gálico (µL)	Agua destilada	Agua destilada (µL)	Folin Ciocalteu (µL)	Na2Co3 (µL)	Agitar y dejar reposar	Leer en espectro
Bco	0	0	200					
1	0.02	40	160					
2	0.04	80	120	1500	100	200	30 min	765 nm
3	0.06	120	80					
4	0.08	160	40					
5	1.0	200	0					

*Nota.* Elaboración propia, basado en A. Márquez & Bustamante, 2009

Para la determinación de las muestras se toman 200 µL, del extracto obtenido, y se realiza el mismo proceso que los puntos de la curva.

### Cálculo

$$\text{Acido Galico } \left( \frac{\text{mg}}{\text{ml}} \right) = \frac{(\text{D.O} + b)X \text{ FD}}{m}$$

Ecuación 2.

Ecuación para determinación de Fenoles Totales.

**Donde:**

**DO:** ordenada al origen.

m: pendiente.

FD: factor de dilución.

### 1.12.2. Análisis de datos.

Para el análisis de la cinética de degradación de fenoles se aplicó un Diseño Bloque Completo al Azar (DBCA) con arreglo factorial de 3A x 6B, con 3 repeticiones, siendo la variable “A” la temperatura de pasteurización (75, 80 y 85 °C) y la variable “B” el tiempo de pasterización (0, 3, 6, 9, 12 y 15 minutos) del zumo de mora. El modelo estadístico fue:

$$y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + (AB)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

$$i=1,2, 3 \text{ y } j = 1, 2, \dots, 6$$

Donde:

$y_{ij}$  = Concentración de Fenoles

$\mu$  = Media general

$A_i$  = Efecto del factor Temperatura: 75, 80, 85 °C

$B_j$  = Efecto del factor Tiempo: 0, 3, 6, 9, 12 y 15 minutos.

$(AB)_{ij}$  = Efecto de la interacción de los factores A y B.

$\epsilon_{ij}$  = Efecto del error experimental

Asimismo, se realizó el análisis de varianza (ANOVA) para evaluar la significancia del modelo, las variables y su interacción, utilizando el software Design Expert v.7.

### 1.13. Criterios éticos.

Durante el desarrollo de la investigación se respetó los derechos de autor, su principio de autonomía, citando adecuadamente y sin adulteración a la información. Así mismo, se respetó los datos obtenidos experimentalmente, sin ninguna alteración, y se replicó tres veces para medir nivel de error. Se verificó que los equipos e instrumentos de medición utilizados estén calibrados, a fin de asegurar validez en los datos recopilados. Se realizó el procesamiento



y análisis de datos, con software con licencias vigentes, y comparando sus resultados con otras investigaciones, a fin de asegurar su confiabilidad.

#### **1.14. Criterios de rigor científico.**

La investigación por su diseño experimental, se siguió dos principios básicos de rigor científico la confiabilidad y validez. La confiabilidad se determinó con la estrategia de réplicas realizadas en a la recopilación de datos, y se comparó con otras investigaciones realizadas a fin de su veracidad. Por otro lado, la validez con el uso de equipos e instrumentos de medición calibrados y/o con el mantenimiento preventivo ejecutado, así como, el uso de software con licencia vigente.

### III. RESULTADOS

#### 1.15. Resultados en tablas y figuras

##### 1.15.1. Caracterización Físicoquímica de Zumo de Mora

En la Tabla 4 se muestran las características físicoquímicas del zumo de mora tratado, el contenido de sólidos solubles fue en promedio de  $6.34 \pm 0.38$ , mientras que el valor de pH fue de  $2.96 \pm 0.12$ , y el valor de acidez titulable (%) fue de  $0.83 \pm 0.05$ . La cantidad de fenoles fue de  $424.185 \pm 4.104$  mg/100g de zumo mora.

**Tabla 4** Caracterización físico-química del zumo de mora

<b>Propiedad</b>	<b>Unidad de medida</b>
<b>Sólidos Solubles</b>	$6.34 \pm 0.38$
<b>pH</b>	$2.96 \pm 0.12$
<b>Acidez Titulable (%)</b>	$0.83 \pm 0.05$
<b>Fenoles (mg/100g)</b>	$424.185 \pm 4.104$

*Nota.* Elaboración propia.

##### 1.15.2. Cinética de degradación de fenoles de Zumo de Mora

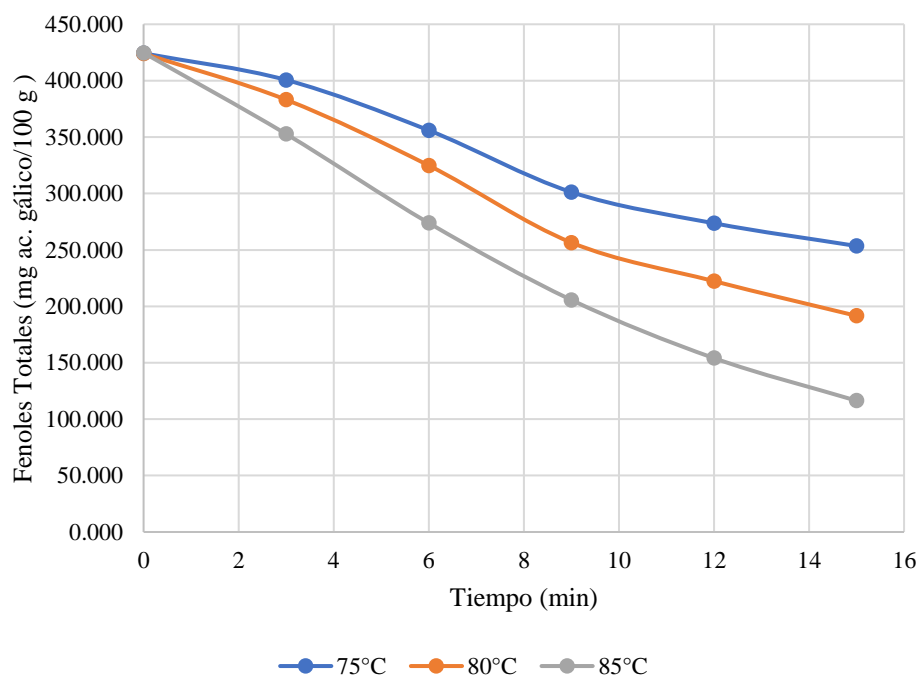
En la tabla 5, se muestra los resultados de los fenoles de los diferentes tratamientos de zumo de mora pasteurizado, observándose un comportamiento de degradación, es decir, para una temperatura dada, a medida que, aumentada el tiempo de control de la pasteurización del zumo, la concentración de fenoles iba disminuyendo. Se realizó la determinación de orden de reacción, para ello se realizó un ajuste de los datos de concentración de fenoles y tiempo para las tres temperaturas estudiadas. Luego, se determinó los parámetros cinéticos ajustando a los métodos de Bigelow y de Arrhenius.

**Tabla 5** Resultados obtenidos de concentraciones de fenoles (mg ac. Gálico / 100g) en los diferentes tratamientos térmicos para zumo de mora.

Tiempo (min)	Contenido de Fenoles Totales (mg ác. gálico/100 gr de mora)					
	75°C		80°C		85°C	
0	424.234	± 3.325	424.015	± 5.337	424.678	± 5.293
3	400.639	± 3.079	383.111	± 5.581	352.729	± 5.080
6	356.005	± 4.327	324.849	± 4.061	273.867	± 4.810
9	301.289	± 5.204	256.536	± 4.355	205.683	± 4.690
12	273.658	± 4.060	222.345	± 4.562	154.119	± 4.331
15	253.496	± 5.518	191.584	± 4.481	116.382	± 4.325

Fuente: Elaboración propia

**Figura 8** Gráfico del comportamiento de fenoles totales vs la temperatura para zumo de mora.



*Nota.* Cinética de degradación de los fenoles totales en el zumo de mora sometida a temperatura de 75 °C, 80 °C y 85 °C.

Se observa una degradación de los fenoles en un rango de 40 – 73% (40.2% a 75 °C, 54.8% a 80 °C y 72.6% a 85°C), en los diversos tratamientos de zumo de mora pasteurizado, determinándose que, a mayor tiempo y mayor

temperatura de pasteurización, mayor es la degradación de fenoles, por lo que existe efectos significativos entre estas variables (Figura 8)

En la tabla 6, se determinó los parámetros cinética de degradación térmica de fenoles totales ajustado a modelos de orden cero y de primer orden, acorde a los antecedentes y bibliografía analizada.

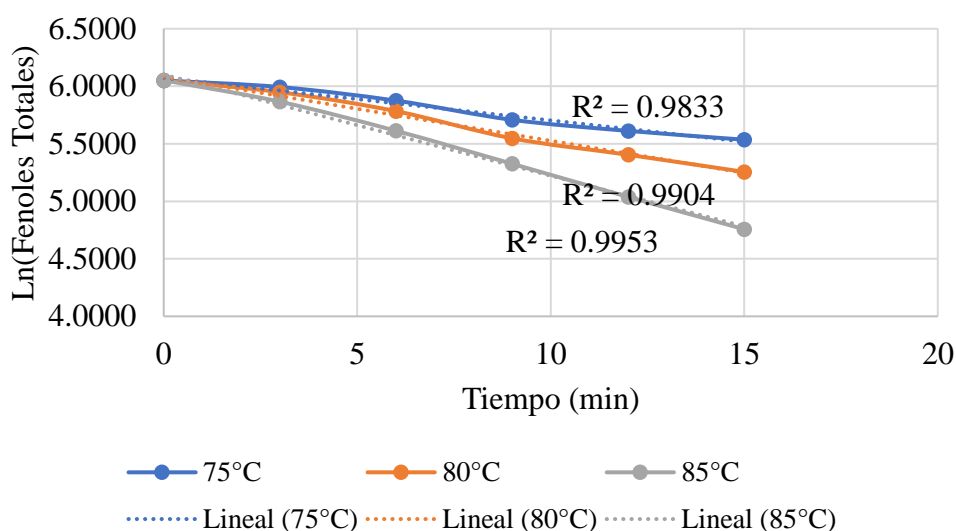
**Tabla 6** Comparación entre los modelos de orden cero y primer orden para describir la cinética de degradación de fenoles totales en el zumo de mora.

Parámetros Cinéticos	Cinética orden cero			Cinética de primer orden		
	75°C	80°C	85°C	75°C	80°C	85°C
k	-12.2795	-16.3121	-21.0047	-0.0370	-0.0556	-0.0880
C <sub>0</sub>	426.9834	422.7472	412.1115	434.0267	437.8597	446.7264
R <sup>2</sup>	0.9792	0.9843	0.9854	0.9833	0.9904	0.9953

*Nota. Elaboración propia.*

Acorde con el coeficiente de correlación, así como método gráfico mostrado en la figura 9, la cinética de degradación de fenoles del zumo de mora se ajusta a un modelo de primer orden (mayor R<sup>2</sup>).

**Figura 9** Gráfico del comportamiento de fenoles totales vs la temperatura para zumo de mora ajustado a modelo de primer orden.



*Nota.* Cinética de degradación de los fenoles totales en el zumo de mora ajustado a modelo de primer orden

En la Figura 9, se observa el ajuste lineal de la ecuación Arrhenius de las variables logaritmo de la constante de la velocidad en función del inverso de la temperatura absoluta, con un alto coeficiente de correlación ( $R^2 = 0,99$ ). La inclinación representa E/R.

En la tabla 7, se determinó las constantes cinéticas por los modelos de Arrhenius, los valores “K” que son mayores a medida que aumentan la temperatura, el parámetro y/o constante  $A_0$  y la energía de activación. Así mismo, se determinó las constantes cinéticas “D” y “Z” ajustado a un modelo de Bigelow, (evaluó la intensidad del binomio tiempo y temperatura), los datos experimentales fueron trazados en escala logarítmica de base 10 versus el tiempo de calentamiento en horas.

**Tabla 7** Parámetros cinéticos para la degradación de fenoles totales en el zumo de mora

<b>Zumo de mora</b>				
	<b>Arhenius</b>		<b>Bigelow</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
$K_{75^{\circ}C}(min^{-1})$	0.0370	$D_{75^{\circ}C}(min^{-1})$	62.2302	0.9833
$K_{80^{\circ}C}(min^{-1})$	0.0556	$D_{80^{\circ}C}(min^{-1})$	41.3950	0.9904
$K_{85^{\circ}C}(min^{-1})$	0.0880	$D_{85^{\circ}C}(min^{-1})$	26.1587	0.9953
$A_0(min^{-1})$	$1.0945 \times 10^{12}$	Z (°C)	2.6568	
$Ea \left( \frac{kJ}{mol} \right)$	89.8178			

*Nota.* Elaboración propia.

Los resultados de los parámetros y/o constantes cinéticas muestran la complejidad de las matrices alimenticias, así como las diferencias en el procesamiento y las condiciones de temperatura y tiempo afectan la concentración de fenoles en el zumo de mora. En conclusión, se observa una dependencia térmica, reflejado con los resultados de k, D y z en esta investigación, los cuales son coincidentes con los reportados en literatura para productos similares.

### 1.15.3. Análisis estadístico del efecto de la pasteurización de zumo de mora en fenoles

Esta tabla 8, se observa para cada uno de los efectos de las variables, las interacciones estimadas y el error estándar. Se consideró que el mayor factor de inflación de varianza (V.I.F.) es igual a 1.0. Para un diseño perfectamente ortogonal, todos los factores serían iguales a 1.

**Tabla 8** Efectos estimados para la concentración de Vitamina C.

<b>Efecto</b>	<b>Estimación</b>	<b>Std. Error</b>	<b>V.I.F.</b>
Promedio	291.51	4.88	
A: Temperatura	-40.16	2.86	1.0
B: Tiempo	-123.99	3.42	1.0
AA	-32.72	4.18	1.0
AB	-5.68	4.95	1.0
BB	19.06	5.85	1.0

*Nota.* Elaboración propia.

En la tabla 9, se observa el análisis de varianza (ANOVA) de las variables independientes temperatura, tiempo y su interacción en los fenoles de zumo de mora, probando la significancia estadística de cada efecto, con un p-valor menor a 0.05. Se determinó que existe significancia de la variable temperatura (A), tiempo (B), la interacción temperatura por tiempo (AxB), y del modelo en la variable dependiente concentración de fenoles, por que tienen un p-valor menor a 0.05, a un nivel de confianza de 95%.

**Tabla 9** Análisis de Varianza para la variable fenoles en el zumo pasteurizada de mora bajo el efecto de los tratamientos de Temperatura (A) y Tiempo (B)

<b>Fuente</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>de Gl</b>	<b>Medio Cuadrado</b>	<b>F- Valor</b>	<b>P- Valor Prob &gt;F</b>
<b>Modelo</b>	1.557E+005	5	31130.88	317.66	< <b>0.0001</b>
<b>A: Temperatura</b>	19349.33	1	19349.33	197.44	< <b>0.0001</b>
<b>B: Tiempo</b>	1.291E+005	1	1.291E+005	1317.72	< <b>0.0001</b>
<b>AB</b>	5995.09	1	5995.09	61.17	< <b>0.0001</b>
<b>AA</b>	128.82	1	128.82	1.31	0.2739
<b>BB</b>	1042.00	1	1042.00	10.63	0.0068
<b>Residual</b>	1176.02	12	98.00		
<b>Error Total</b>	1.568E+005	17	31130.88		
<b>Total (corr.)</b>	1.557E+005				
<b><math>R^2</math></b>	99.25%				
<b><math>R^2</math> (por Df)</b>	98.94%				
<b><math>S_{est}</math></b>	9.90				
<b>CV%</b>	3.34				

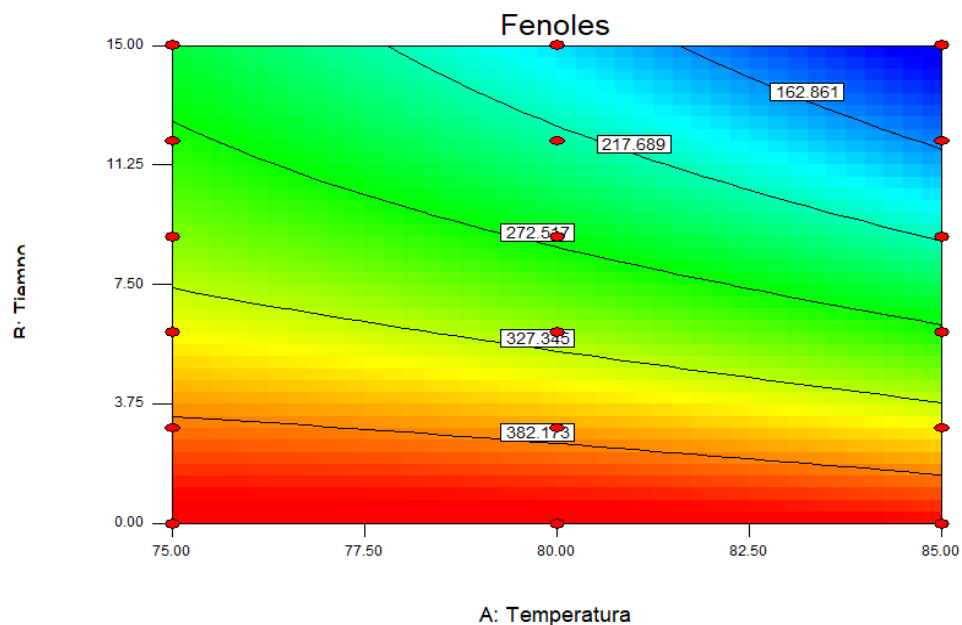
*Nota.* Elaboración propia

El  $R^2$  de 99.25 % de la desviación de la degradación en fenoles totales, indica un buen ajuste a un modelo de 1er orden. El error del ANOVA fue medido a través de la desviación estándar, y coeficiente de variación, obteniendo como resultado 9.90 y 3.34%, respectivamente. El modelo ajustado sigue la ecuación:

$$\text{Fenoles Totales} = 291.51 - 40.16 * \text{Temperatura} - 123.99 * \text{Tiempo} + 19.06 * \text{Tiempo}^2 - 32.72 * \text{Tiempo} * \text{Temperatura} - 5.68 * \text{Temperatura}^2$$

En la figura 10, se muestra un gráfico de contornos de superficie respuesta donde se aprecia a detalle relación inversamente proporcional entre la degradación de fenoles en el zumo de mora con la temperatura y tiempo, con valores iniciales máximo de 382.173 mg de ac. gálico/100 g y final hasta 162.861 mg de ac. gálico/100 g.

**Figura 10** Efecto de la temperatura y tiempo en el contenido de fenoles en zumo de mora.



*Nota.* Gráfico de contornos que muestra el efecto de la temperatura y tiempo en el contenido de fenoles en zumo de mora.

#### 1.15.4. Análisis microbiológico del efecto de la pasteurización de zumo de mora

En la tabla 10, se observa los resultados de los análisis microbiológicos de mohos y levaduras aplicados al zumo de mora sometida a tratamiento térmicos en tres niveles de temperatura (75, 80 y 85 °C) y tres niveles de tiempo (5, 10 y 15 minutos) almacenadas durante 30 días (evaluadas en el día 10, 20 y 30). Cabe resaltar, que la variable tiempo, se trabajó en un nuevo modelo estadístico tomando los tres puntos centrales del rango de tiempo entre 0 y 15 minutos, a diferencias de cómo se evaluó anteriormente la degradación fenólica. Según la (DIGESA, 2003), el límite de mohos y levaduras en una bebida jarabeada y no jarabeada no carbonatada es de 1-10 ufc/ml, por lo que se identificó que todos los tratamientos cumplían en el día 10, sin embargo, en el día 20 de almacenamiento, sólo cumplió dos tratamientos a 85°C por 10 min y 85°C por 15 minutos. En el día 30, ningún tratamiento cumplió con los parámetros de calidad microbiológica de mohos y levaduras.



**Tabla 10** Matriz de tratamientos y respuesta de Mohos y Levaduras (ufc/mL)

Temperatura de pasteurización	Tiempo de pasteurización	Tiempo de almacenamiento	Mohos y Levaduras (ufc/mL)
75	5	10	0±0.00
80	5	10	0±0.00
85	5	10	0±0.00
75	10	10	0±0.00
80	10	10	0±0.00
85	10	10	0±0.00
75	15	10	0±0.00
80	15	10	0±0.00
85	15	10	0±0.00
75	5	20	11.33±2.88
80	5	20	23.33±6.11
85	5	20	17.33±1.15
75	10	20	14.66±7.09
80	10	20	16.33±5.13
85	10	20	7.66±2.51
75	15	20	19±1.73
80	15	20	16±1.00
85	15	20	9±1.00
75	5	30	17.66±1.52
80	5	30	20.66±4.04
85	5	30	28.33±10.01
75	10	30	18.33±1.52
80	10	30	27.66±2.51
85	10	30	17±2.64
75	15	30	45.66±4.5
80	15	30	28.33±4.16
85	15	30	12±1.00

*Nota.* Elaboración propia.

En la tabla 11, se observa el análisis de varianza aplicado a la evaluación microbiológica (mohos y levaduras) de los diferentes tratamientos, donde se determina que las variables tiempo y modelo son significativos en el contenido de mohos y levaduras del zumo de mora, porque tienen un p-valor menor a 0.005. Mientras que las variables, temperatura y tiempo no son significativas.

**Tabla 11** Análisis de Varianza para mohos y levaduras (ufc/mL).

Origen	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio cuadrado	Valor F	p-valor
Modelo	2620.180	6	436.697	7.803	0.0002
A-Temperatura de pasteurización	166.497	2	83.248	1.487	0.2499
B-Tiempo de pasteurización	24.776	2	12.388	0.221	0.8034
C-Tiempo de almacenamiento	2428.908	2	1214.454	21.700	< 0.0001
Residual	1119.329	20	55.966		
Total	3739.509	26			

*Nota.* Elaboración propia.

En la tabla 12, se muestra los coeficientes estadísticos al modelo, determinándose una desviación estándar de 7.481, un coeficiente de correlación de 0.701 y coeficiente de variabilidad de 59.187%, lo que demuestra la dispersión entre las variables estudiadas.

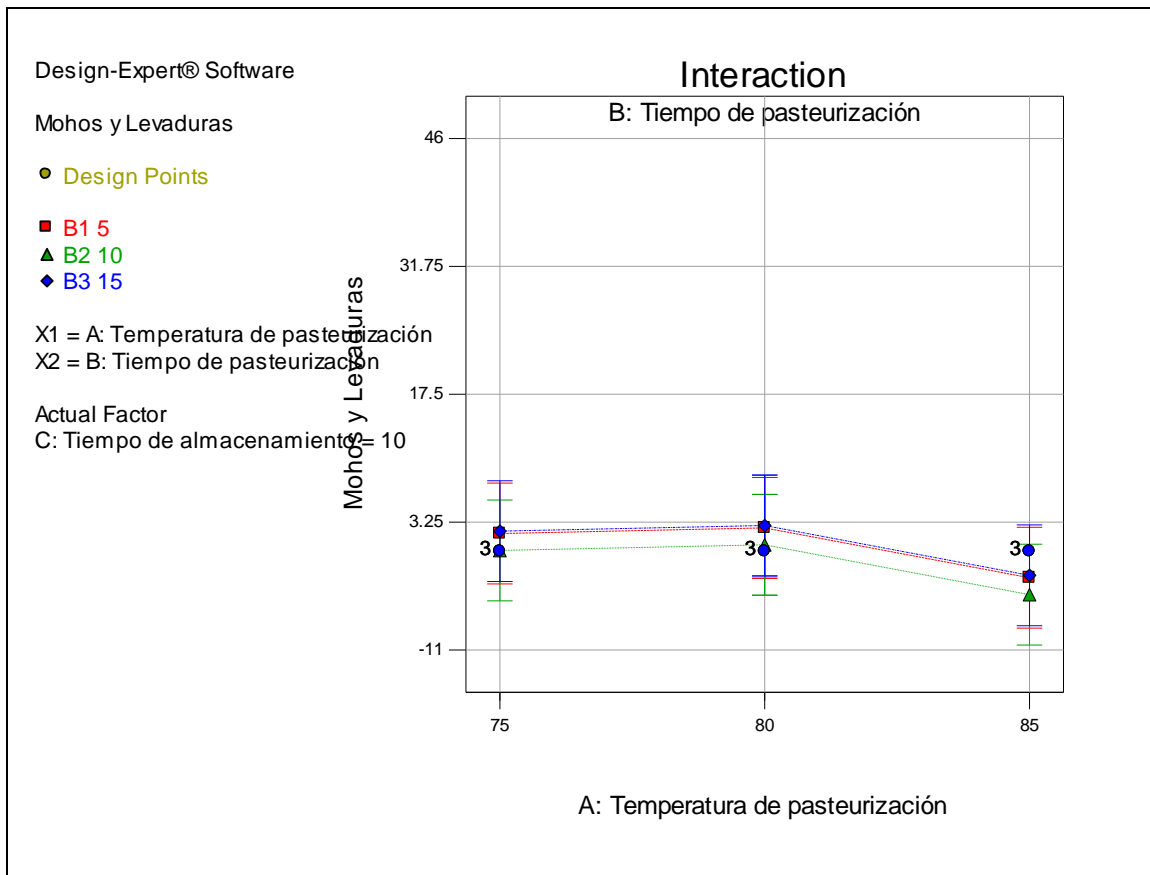
**Tabla 12** Coeficientes estadísticos.

Coefficiente Estadístico	Valor	Coefficiente Estadístico	Valor
Std. Dev.	7.481	R-Squared	0.701
Mean	12.640	Adj R-Squared	0.611
C.V. %	59.187	Pred R-Squared	0.454
PRESS	2039.978	Adeq Precision	8.021

*Nota.* Elaboración propia.

En la figura 11 se observa la interacción de las variables independientes tiempo de pasteurización, temperatura de pasteurización en la variable dependiente contenido de mohos y levaduras, y la variable control tiempo de almacenamiento a 10 días; se determinó no existe crecimiento microbiano, por lo que los valores se encuentran estables a cero.

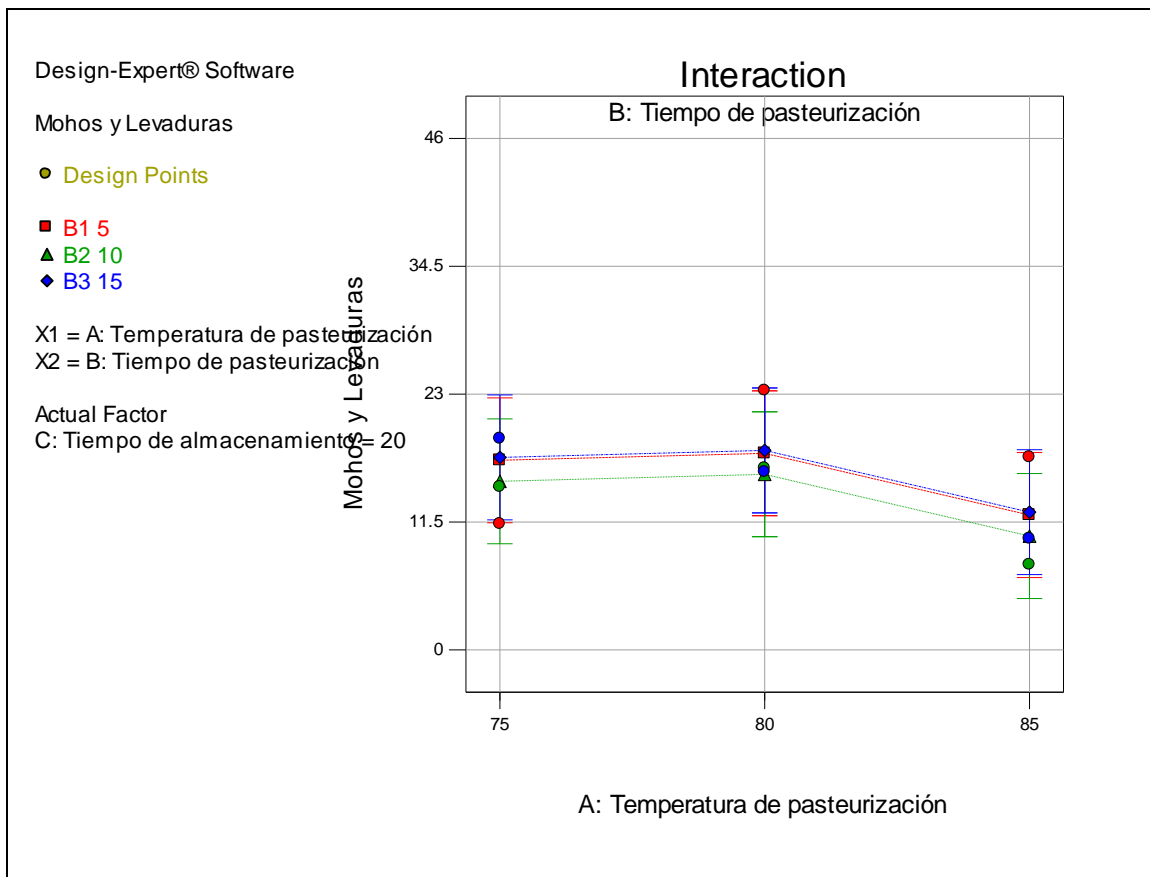
**Figura 11** Interacciones de la temperatura y tiempo de pasteurización del zumo de mora sobre la cantidad de mohos y levaduras en los 10 días de almacenamiento.



*Nota.* Gráfico de interacciones de Temperaturas vs Tiempo de pasteurización, almacenado 10 días. Las tres líneas nos indica el tiempo de pasteurización de 5,10,15 minutos.

En la figura 12 se observa la interacción de las variables independientes tiempo de pasteurización, temperatura de pasteurización en la variable dependiente contenido de mohos y levaduras, y la variable control tiempo de almacenamiento a 20 días; se determinó existe crecimiento microbiano, siendo mayor cuando se tuvo menor temperatura y tiempo de pasteurización, por el contrario, fue menor el crecimiento de mohos y levaduras cuando mayor fue la temperatura y tiempo de pasteurización. En promedio se tuvo un crecimiento de mohos y levaduras sobre los 11,5 ufc/ml.

**Figura 12** Interacciones de la temperatura y tiempo de pasteurización del zumo de mora sobre la cantidad de mohos y levaduras en los 20 días de almacenamiento.

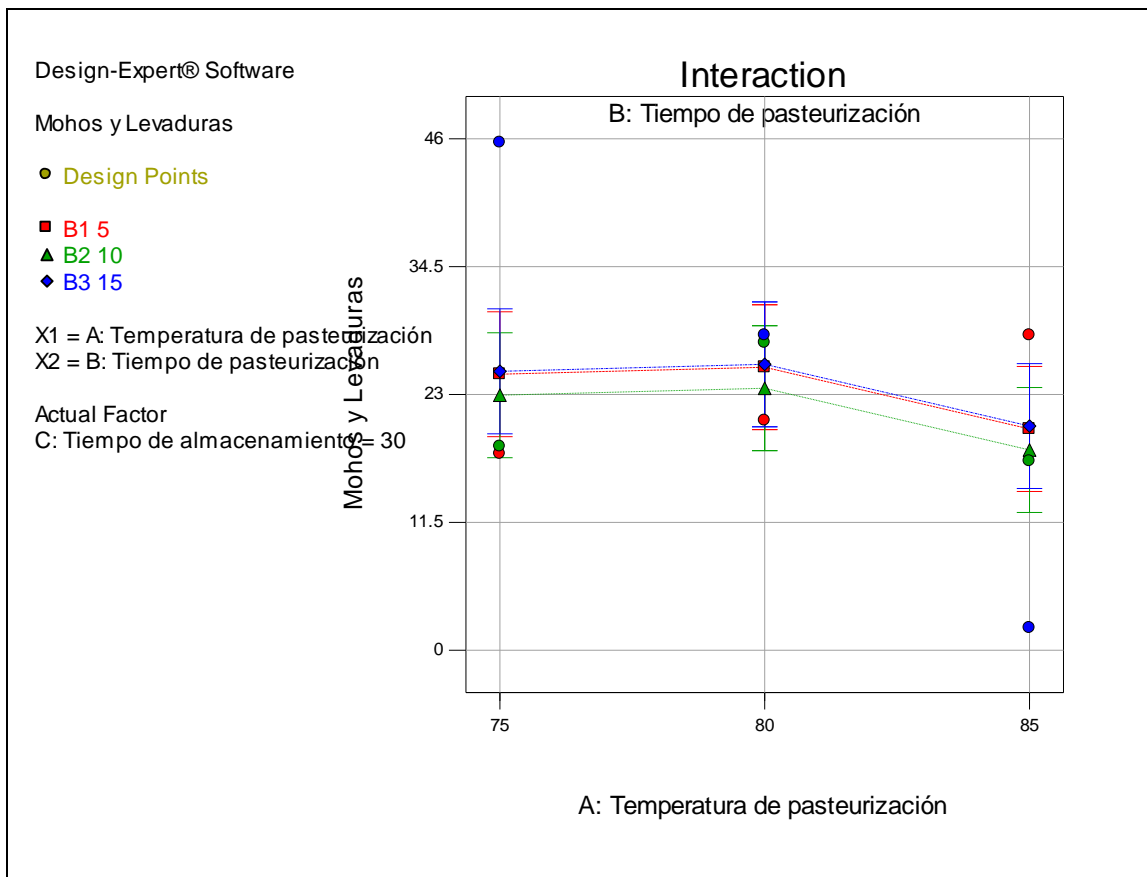


*Nota.* Gráfico de interacciones de Temperaturas vs Tiempo de pasteurización, almacenado 20 días. Las tres líneas nos indica el tiempo de pasteurización de 5,10,15 minutos

En la figura 13 se observa la interacción de las variables independientes tiempo de pasteurización, temperatura de pasteurización en la

variable dependiente contenido de mohos y levaduras, y la variable control tiempo de almacenamiento a 30 días; se determinó existe crecimiento microbiano, siendo mayor cuando se tuvo menor temperatura y tiempo de pasteurización, por el contrario, fue menor el crecimiento de mohos y levaduras cuando mayor fue la temperatura y tiempo de pasteurización. En promedio se tuvo un crecimiento de mohos y levaduras sobre los 20,0 ufc/ml.

**Figura 13** Interacciones de la temperatura y tiempo de pasteurización del zumo de mora sobre la cantidad de mohos y levaduras en los 30 días de almacenamiento.



*Nota.* Gráfico de interacciones de Temperaturas vs Tiempo de pasteurización, almacenado 30 días. Las tres líneas nos indica el tiempo de pasteurización de 5,10,15 minutos

Para evaluar las diferencias significativas entre los tratamientos, se aplicó una prueba de tukey, a los 20 y 30 días de almacenamiento, dado que a los 10 días no hubo crecimiento de mohos y levaduras. En la tabla 13, se

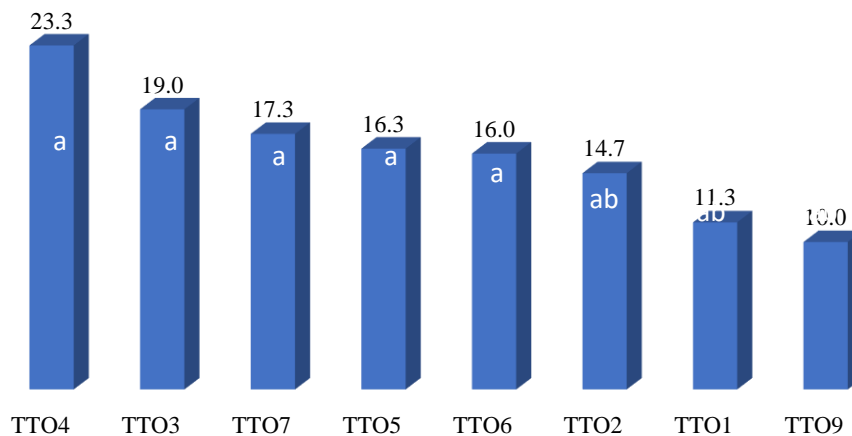
muestran los indicadores de la prueba de tukey, a los 20 días de almacenamiento.

**Tabla 13** Prueba de Tukey – 20 días.

<b>Indicador</b>	<b>Valor obtenido</b>
CME =	15
Gle =	18
T =	9
R =	3
Sx =	2.23606798
Qx =	4.34
T =	9.7

En la figura 14, se muestran los resultados de la prueba de Tukey para el almacenamiento a 20 días del zumo de mora pasteurizado, donde se determinó que no existen diferencias entre el tratamiento 4, 3, 7, 5, 6 pero si con los tratamientos 2, 1, y 9.

**Figura 14** Tratamientos de tiempos y temperaturas de pasteurización para zumo de mora en 20 días de almacenamiento



*Nota.* Elaboración propia

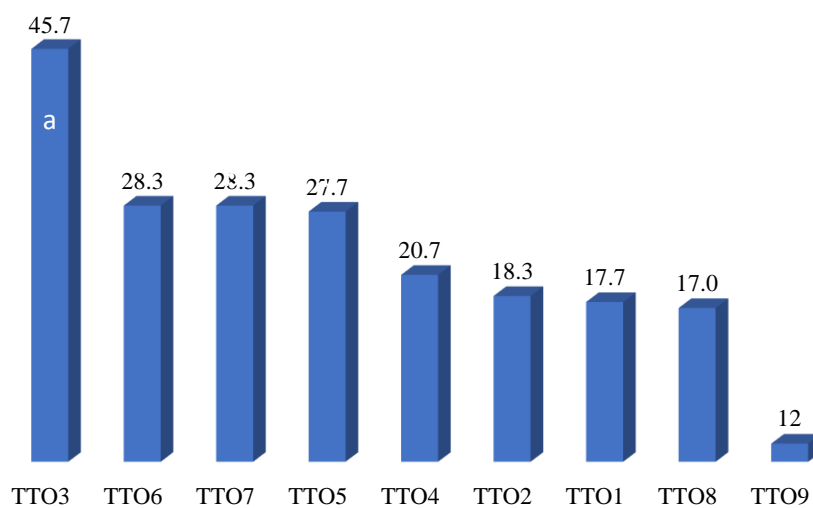
En la tabla 14, se muestran los indicadores de la prueba de tukey, a los 30 días de almacenamiento.

**Tabla 14** Prueba de Tukey – 30 días.

<b>Indicador</b>	<b>Valor</b>
CME =	19.259
Gle =	18
T =	9
R =	3
Sx =	2.533
Qx =	4.34
T =	11.0

En la figura 15, se muestran los resultados de la prueba de Tukey para el almacenamiento a 30 días del zumo de mora pasteurizado, donde se determinó que no existen diferencias entre el tratamiento 6, 7, 5, 4 y entre los tratamientos 1, 8, mientras que si existen diferente tratamiento 1 y 9.

**Figura 15** Tratamientos de tiempos y temperaturas de pasteurización para zumo de mora a 30 días de almacenamiento.



*Nota.* Elaboración propia.

## 1.16. Discusión de resultados.

Según (Siente, Threlfall, Clark, & Worthington, 2020) evaluaron los atributos fisicoquímicos de las bayas en la cosecha (día 0) y los atributos fisicoquímicos y de comerciabilidad después de 7 y 14 días a 10°C. Al momento de la cosecha, las bayas de estos genotipos tenían sólidos solubles de 7.4-11.0%, pH de 2.5-3.5 y acidez titulable de 0.7-1.3%. No hubo interacciones significativas para la descomposición, y la descomposición no se vio afectada por el tiempo de cosecha o el genotipo. La descomposición fue de 0, 35,4 y 70,0% después de 0, 7 y 14 días, respectivamente. Hubo interacciones significativas para los otros atributos. Durante el almacenamiento poscosecha, A-2444 tuvo la mayor incidencia de pérdida de peso (9,5 %) cuando se cosechó a las 12:00 p. m., mientras que A-2526 tuvo la menor pérdida de peso cuando se cosechó a las 12:00 p. m. (4,5 %). En general, el tiempo de cosecha tuvo un impacto mínimo en la comerciabilidad de la mora durante el almacenamiento.

Según (D'Agostino, Sicari, Giuffrè, & Soria, 2022) estudiaron los parámetros fisicoquímicos y capacidad antioxidante de moras silvestres y cultivadas recolectadas en siete lugares diferentes de Calabria. Los frutos silvestres mostraron un contenido de materia seca significativamente mayor (16,34-22,14 %) y pH (3,92-5,12) y una acidez total más baja (0,23-0,74 como % de ácido cítrico) en comparación con la muestra cultivada (materia seca: 15,31 %; pH: 3,30). y acidez total: 1% de ácido cítrico), mientras que el color y los sólidos solubles totales fueron similares.

Según (Garcia Pastor, 2016) en un estudio comparativo de contenido de fenoles de mora en estado fresco y deshidratado, se observa una diferencia 36%, teniendo al principio 305 mg/100 g y al final de 195.2 mg/100 g. También identificaron que la Mora es el producto que tiene mayor cantidad de fenoles que el arándano, frambuesa, fresa, granada, grosella y uva. La deshidratación se realizó por 70 horas en una estufa a 60°C, por la alta relación de superficie volumen. El secado (operación unitaria de transferencia de masa y calor) es un método de conservación, porque inhiben la actividad microbiana, enzimática y las pérdidas de calidad, debido a la reducción de actividad de agua. Así mismo, ayuda a reducir



los costos logísticos relacionados al transporte y almacenamiento por disminuir el peso y volumen del producto.

Según (Angulo Castro, 2013) en su investigación evaluaron la aplicación de radiación UV sobre contenido de fenoles, se observó en la muestra control (sin radiación), la cantidad de fenoles inicial fue 0,9 mg ac. gálico/g tejido, y se fue incrementándose en 55,6% durante 18 días de almacenamiento (1,4 mg ac. gálico/g tejido). Mientras que, los frutos tratados con dosis de 2 kJ/m<sup>2</sup> presentaron un aumento de 0.22 mg de ácido gálico/ g de tejido comparado con la muestra control, para la dosis de 5 kJ/m<sup>2</sup>, el contenido de fenoles totales disminuyó 10% (0.1 mg ácido gálico/g tejido) y no se encontraron diferencias significativas en el contenido de fenoles totales entre la dosis de 8 kJ/m<sup>2</sup> y la muestra control. Durante el almacenamiento se observó que el contenido de fenoles totales aumentó para todos los frutos tanto control como tratados; sin embargo, el contenido de fenoles totales de los frutos tratados fue mayor con respecto del control.

Según (Torres Alcántara & Vidaurre Ruiz, 2015) en su investigación determinaron una cinética de primer orden en la degradación de compuestos fenoles en la bebida funcional de arándano almacenado a diferentes temperaturas (30, 40 y 50 °C). (Henríquez, Córdova, & Almonacid, 2014) , se obtuvo una cinética de primer orden en la degradación del compuesto fenólico durante secado en tambor de piel de cáscara de manzana (Granny Smith) a una temperatura de 110, 120, 130 ó 140 °C durante 250 segundos.

Según (Torres Alcántara & Vidaurre Ruiz, 2015) en su investigación de cinética de degradación de compuestos fenoles en la bebida funcional de arándano almacenado a diferentes temperaturas (30, 40 y 50 °C) determinó una energía de activación de 13.4571 kcal/mol. (Henríquez, Córdova, & Almonacid, 2014) , se determinó una energía de activación de 17.3077 kcal/mol en su estudio de cinética de comportamiento del compuesto fenólico durante secado en tambor de piel de cáscara de manzana (Granny Smith) a una temperatura de 110, 120, 130 ó 140 °C durante 250 segundos.

Según (Torres Alcántara & Vidaurre Ruiz, 2015) en su investigación determinó una constante de velocidad de degradación de 0.0004, 0.0009 y 0.0017  $m^{-1}$  de una bebida funciona de arándano almacenado a temperaturas de 50, 40 y 30 °C. (Henríquez, Córdova, & Almonacid, 2014) , se determinó unas constantes de velocidad de 0.001, 0.002, 0.0031 y 0.0059  $m^{-1}$  en su estudio de cinética de comportamiento del compuesto fenólico durante secado en tambor de piel de cáscara de manzana (Granny Smith) a una temperatura de 110, 120, 130 ó 140 °C durante 250 segundos.

En los análisis microbiológicos, se observa en el análisis de varianza para determinar la concentración de mohos y levaduras de UFC en el zumo de mora podemos observar que entre los tratamientos en estudio hubo diferencia significativa, lo que nos hace concluir de que la variable  $T^{\circ}$  y  $T'$ , mostraron tener un efecto sobre la calidad de microorganismos del zumo de mora.

Por otro lado, se muestra la prueba de comparación de medias (Prueba de Tukey). para determinar la cantidad de UFC de mohos y levaduras en el zumo de mora a los 20 días después de los tratamientos podemos observar que el tratamiento 9 (85°/ 15´) fue el que mostró la menor cantidad de UFC con 10 UFC/ ml de zumo de mora, seguido del tratamiento con 11.3 UFC/ ml de zumo de mora, del mismo modo podemos observar que el T3 y T4 fueron los que mostraron la mayor cantidad de UFC/ ml con 19 y 23.3 UFC/ ml de zumo de mora respectivamente.

#### **IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

##### **1.17. Conclusiones.**

Se evaluó las características fisicoquímicas del zumo de mora (*Rubus Ulmifolius*), y se obtuvo los siguientes resultados: pH  $2.96 \pm 0.17$ , acidez  $0.83 \pm 0.05\%$ , grados Brix  $6.34 \pm 0.38$  y contenido de fenoles  $424 \pm 4,104$  mg/100g.

La degradación de compuestos fenoles en el zumo de mora pasteurizado se ajustó a un modelo de cinética de primer orden, con una velocidad de 0.0370, 0.0556 y 0.0880 min<sup>-1</sup> a temperaturas de 75, 80 y 85 °C respectivamente con una energía de activación de 89.8178 Kcal/mol. En el tratamiento de 85° hubo una gran degradación de compuestos fenólicos en el zumo de mora (72,6%), a diferencia del tratamiento 75° min donde la pérdida fue menor (40,2%).

Durante el almacenamiento del zumo de mora pasteurizada a 10, 20 y 30 días, se determinó que no existieron variaciones significantes en el día 10, es decir, mantuvo su calidad microbiológica (mohos y levaduras), sin embargo, superó los límites establecidos según la normativa nacional (1-10ufc/ml) en el día 20 y 30 de almacenamiento.

##### **1.18. Recomendaciones.**

Se recomienda que se investigue a profundidad sobre los compuestos bioactivos que están presentes en los frutos silvestres, y así de esta manera conocer detalladamente el potencial que tienen estas frutas generando la prevención de enfermedades cardiacas y cancerígenas.

Se recomienda que el tiempo de almacenamiento es un factor de gran importancia porque nos va a permitir ver el tiempo de vida útil y prolongarlo de un zumo pasteurizado.

La necesidad de hoy en día de consumir alimentos saludables y sanos toma mayor interés dentro de la industria alimentaria, es por eso que se recomienda realizar investigaciones de estas frutas que poseen gran cantidad de compuestos bioactivos.

Realizar o elaborar productos con valor agregado de estas frutas, para que sea conocido en el mercado y también para que el consumidor conozca de su alto valor nutricional, generando así que el impacto sea llamativo.

## V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta-Montoya, O., Vaillant, F., Cozzano, S., Mertz, C., Perez, A., & Castro, M. (2019). Phenolic content and antioxidant capacity of tropical highland blackberry (*Rubus adenotrichus* Schltdl.) during three edible maturity stages. *Food Chem*, 119(1), 1497–1501. doi:10.1016/j.foodchem.2009.09.032
- Alarcón, K., Armijos, D., García, M., Iturralde, G., Jaramillo, T., Granda, M., . . . Álvarez, J. (2018). Wild Andean blackberry (*Rubus glaucus* Benth) and Andean blueberry (*Vaccinium floribundum* Kunth) from the Highlands of Ecuador: Nutritional composition and protective effect on human dermal fibroblasts against cytotoxic oxidative damage. (I. Press, Ed.) *Journal of Berry Research*, 8(3), 223 - 236. doi:10.3233/JBR-180316
- Angulo Castro, J. B. (2013). *Efecto de la radiación UV-C sobre el contenido de compuestos antioxidantes de mora castilla (Rubus glaucus) sin espinas*. Quito - Ecuador: Universidad Tecnológica Equinoccial.
- Campanella, O. (2016). Heat Treatment: Principles and Techniques. En O. Campanella, *Encyclopedia of Food and Health* (págs. 316-327). United States: Elsevier Inc. doi:10.1016/B978-0-12-384947-2.00371-8
- Codex Alimentarius. (2005). *CODEX STAN 247-2005: NORMA GENERAL DEL CODEX PARA ZUMOS (JUGOS) Y NÉCTARES DE FRUTAS* . Obtenido de [www.codexalimentarius.net/web/index\\_es.jsp](http://www.codexalimentarius.net/web/index_es.jsp)
- Da Silva, D., Itoda, C., Lourenzi, C., Pelaes, A., Yamamoto, L., Yamamoto, L., . . . Matumoto, P. (2018). Effects of blackberries (*Rubus* sp.; cv. Xavante) processing on its physicochemical properties, phenolic contents and antioxidant activity. (Springer, Ed.) *Journal of Food Science and Technology*, 55(11), 4642 - 4649. doi:10.1007/s13197-018-3405-6
- D'Agostino, M., Sicari, V., Giuffrè, A., & Soria, A. (2022). Blackberries (*Rubus ulmifolius* Schott) from Calabria (Italy): a comprehensive characterisation. (S. S. GmbH, Ed.) *European Food Research and Technology*, 248(3), 905 - 916. doi:10.1007/s00217-021-03922-8
- DIGESA, R. N. (2003). *NORMA SANITARIA QUE ESTABLECE LOS CRITERIOS MICROBIOLÓGICOS DE CALIDAD SANITARIA E INOCUIDAD PARA LOS ALIMENTOS Y BEBIDAS DE CONSUMO HUMANO* . Lima: Inacal.
- Fan-Chiang, H. J., & Wrolstad, R. E. (2010). Sugar and nonvolatile acid. *J. AOAC*, 93, 956–965. doi:10.1093/jaoac/93.3.956
- García Pastor, M. E. (2016). *Contenido de antocianinas, compuestos fenólicos en diferentes frutos frescos y deshidratados*. Universidad Miguel Hernández de Elche. Orihuela - España: Master Oficial en Técnicas Avanzadas para la Investigación y la Producción en Fruticultura.

- Gestión. (11 de Noviembre de 2017). Sierra Exportadora: El desafío es desarrollar la frambuesa, mora, fresas y berries andinos. *Economía*, pág. 11.
- Henríquez, C., Córdova, A., & Almonacid, S. (2014). Kinetic modeling of phenolic compound degradation during drum-drying of apple peel by-products. *Journal of Food Engineering*, 143, 146 - 153. doi:10.1016/j.jfoodeng.2014.06.037
- Jazic, M., Kukric, Z., Vulic, J., & Cetojevic, D. (2019). Polyphenolic composition, antioxidant and antiproliferative effects of wild and cultivated blackberries (*Rubus fruticosus* L.) pomace. (B. P. Ltd, Ed.) *International Journal of Food Science and Technology*, 54(1), 194-201. doi:10.1111/ijfs.13923
- Kaume, L., Howard, L., & Devareddy, L. (2012). The Blackberry Fruit: A Review on Its Composition and Chemistry,. (JAFCA, Ed.) *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(23), 5716 - 5727. doi:10.1021/jf203318p
- Lago, C., & Noreña, C. (2017). Thermodynamic and kinetics study of phenolics degradation and color of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) microparticles under accelerated storage conditions. (S. India, Ed.) *Journal of Food Science and Technology*, 54(13), 4197 - 4204. doi:10.1007/s13197-017-2887-y
- Oancea, A.-M., Onofrei, C., Turturică, M., Bahrim, G., Râpeanu, G., & Stănciuc, N. (2018). The kinetics of thermal degradation of polyphenolic compounds from elderberry (*Sambucus nigra* L.) extract. (S. P. Inc., Ed.) *Food Science and Technology International*, 24(4), 361 - 369. doi:10.1177/1082013218756139
- Oancea, A.-M., Turturică, M., Bahrim, G., Râpeanu, G., & Stănciuc, N. (2017). Phytochemicals and antioxidant activity degradation kinetics during thermal treatments of sour cherry extract. (A. Press, Ed.) *LWT - Food Science and Technology*, 82, 139 - 146. doi:10.1016/j.lwt.2017.04.026
- Ouyang, M., Cao, S., Huang, Y., & Wang, Y. (2021). Phenolics and ascorbic acid in pumpkin (*Cucurbita maxima*) slices: effects of hot air drying and degradation kinetics. (Springer, Ed.) *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15(1), 247 - 255. doi:10.1007/s11694-020-00618-7
- Rajauria, G., & K.Tiwari, B. (2018). Chapter 1 - Fruit Juices: An Overview. En *Fruit Juices. Extraction, Composition, Quality and Analysis* (págs. 3-13). Dublin, Ireland: Academic Press. doi:10.1016/B978-0-12-802230-6.00001-1.
- Rodrigo, D., Tejedor, W., & Martínez, A. (2015). Heat Treatment: Effect on Microbiological Changes and Shelf Life. En D. Rodrigo, W. Tejedor, & A. Martínez, *Encyclopedia of Food and Health* (págs. 311 - 315). Valencia, España: Elsevier Inc. doi:10.1016/B978-0-12-384947-2.00372-X
- Sánchez, W., Cortez, J., Solano, M., & Vidaurre, J. (2015). Cinética de degradación térmica de betacianinas, betaxantinas y vitamina C en una bebida a base de jugo de remolacha (*Beta vulgaris* L.) y miel de abeja. *Scientia Agropecuaria*, 6(2), 111 - 118. doi:dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2015.02.03.
- Siente, M., Threlfall, R., Clark, J., & Worthington, M. (2020). Effects of harvest time (7:00 am and 12:00 pm) on postharvest quality of Arkansas fresh-market

- blackberries. (I. S. Science, Ed.) *Acta Horticulturae*, 1277(1), 477 - 486. doi:10.17660/ActaHortic.2020.1277.68
- Snoussi, A., Bouacida, S., Mitić, M., Arsić, B., Koubaier, H., Chouaibi, M., . . . Bouzouita, N. (2022). Thermal degradation kinetics of myrtle leaves ethanol extract (*Myrtus communis* L.): effect on phenolic compounds content and antioxidant activity. (Springer, Ed.) *Journal of Food Measurement and Characterization*. doi:10.1007/s11694-022-01341-1
- Sridhar, A., Ponnuchamy, M., Senthil, P., Kapoor, A., Dai-Viet, N., & Prabhakar, S. (2021). Techniques and modeling of polyphenol extraction from food: a review. (S. N. Switzerland, Ed.) *Environmental Chemistry Letters*, 19(1), 3409–3443. doi:10.1007/s10311-021-01217-8
- Torres Alcántara, Y. S., & Vidaurre Ruiz, J. M. (2015). Cinética de degradación de compuestos fenoles y antocianinas en una bebida funcional a base de arándano azul (*Vaccinium corymbosum* L.). *Ingeniería: Ciencia, Tecnología e Innovación*, 2(1), 7-13.
- Turturică, M., Stănciuc, N., Bahrim, G., & Râpeanu, G. (2016). Effect of thermal treatment on phenolic compounds from plum (*Prunus domestica*) extracts - A kinetic study. (E. Ltd, Ed.) *Journal of Food Engineering*, 171, 200 - 207. doi:10.1016/j.jfoodeng.2015.10.024
- Valencia, C., & Guevara, A. (2013). Elaboración de néctar de zarzamora (*Rubus fruticosus* L.). *Scientia Agropecuaria*, 4(2), 101-109. doi:10.17268/sci.agropecu.2013.02.03
- Van den Oever, S., & Hong Kong, M. (2021). Analytical assessment of the intensity of heat treatment of milk and dairy products. (E. Ltd, Ed.) *International Dairy Journal*, 121(1), 105097. doi:10.1016/j.idairyj.2021.105097
- Veliz Sedano, N., Espinoza Silva, C., & Quispe Solano, M. (2022). Formulación y cinética de la degradación de antocianinas del néctar de zarzamora silvestre sp. por tratamiento. (U. N. Perú, Ed.) *Prospectiva Universita*, 9(1), 69-76. doi:doi.org/10.26490/uncp.prospectivauniversitaria.2012.9.38
- Zhuk, A., A., S., A., K., Kuranova, L., & Grokhovsky, V. (2021). Software for calculating the actual lethality of canned food heat treatment processes: Development and application. *International Scientific and Practical Conference on State and Prospects for the Development of Agribusiness, INTERAGROMASH 2021* (págs. 273-280). Russian Federation: EDP Sciences. doi:10.1051/e3sconf/202127313002

## VI. ANEXOS

**Figura 16** Frutos de mora adquiridas para realización de investigación



**Figura 17** Acondicionamiento de frutos de mora.





**Figura 18** Elaboración de curva patrón de ácido gálico para determinación de fenoles.



**Figura 19** Análisis espectrofotométrico para determinación de fenoles.

