

UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE DE
DIOS
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AGROINDUSTRIAL



“INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA DE SECADO MEDIANTE
INFRARROJO LEJANO (FIR) EN LA DEGRADACIÓN DE LA VITAMINA C EN
LA CARAMBOLA (*AVERRHOA CARAMBOLA L*)”

Tesis presentada por:

Bachiller: MEDRANO AGUILERA, Alexis
Marvin

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Agroindustrial

Asesor: Dr. COLQUEHUANCA VILCA,
Julián

Puerto Maldonado, 2023

UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE DE
DIOS
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AGROINDUSTRIAL



“INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA DE SECADO MEDIANTE
INFRARROJO LEJANO (FIR) EN LA DEGRADACIÓN DE LA VITAMINA C
EN LA CARAMBOLA (*AVERRHOA CARAMBOLA L*)”

Tesis presentada por:

Bachiller: MEDRANO AGUILERA, Alexis
Marvin

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Agroindustrial

Asesor: Dr. COLQUEHUANCA VILCA,
Julián

Puerto Maldonado, 2023

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo en primera instancia a Dios, por haberme dado la dicha de llegar a este mundo y darme las oportunidades de forjar un futuro. A mi familia, especialmente a mi madre por ser el pilar fundamental de lo que hasta hoy he logrado en lo personal y profesional, mis hermanos y amigos, por el apoyo incondicional que contribuyeron en el logro de mis metas.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco en primer lugar a Dios por guiarme en toda esta trayectoria que llamamos vida y ser la fuerza invisible que me empuja cada vez para ser mejor día a día.

A todos mis docentes, quienes me brindaron su tiempo, paciencia y conocimiento para forjar mi propio camino hacia una vida profesional.

Al Dr. Julián Colquehuanca Vilca, por brindar sus conocimientos, experiencias durante mi formación académica y por el apoyo incondicional y asesoramiento durante el desarrollo de esta Tesis.

A Víctor Hugo Lima Pimentel, por brindarme su amistad y acompañamiento durante el proceso de las actividades desarrolladas en la presente investigación.

A los miembros del jurado, conformado por el Mg. Javier Eduardo Díaz Viteri, Mg. Pedro Saúl Montalván Apolaya y Mg. Jesus Efrain Humpire Castillo, por dedicar parte de su tiempo y brindar sus sugerencias y acotaciones, lo cual sirvió para fortalecer y enriquecer el presente trabajo investigación. Y finalmente un agradecimiento muy especial a todos mis amigos, y aquellas personas que me apoyaron en la realización del presente trabajo.

TURNITIN_ALEXIS MEDRANO AGUILERA

INFORME DE ORIGINALIDAD

18%

INDICE DE SIMILITUD

17%

FUENTES DE INTERNET

5%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet	3%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
3	repositorio.unamad.edu.pe Fuente de Internet	2%
4	repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	cdn.www.gob.pe Fuente de Internet	1%
6	revistas.unsm.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	www.scielo.org.bo Fuente de Internet	1%
8	www.mysciencework.com Fuente de Internet	<1%
9	repositorio.ug.edu.ec Fuente de Internet	<1%

PRESENTACION

En el trabajo de investigación presentamos los resultados de labor de investigación enfocado en la innovación de deshidratación de frutas utilizando las ondas de radiación infrarrojo lejano (FIR) para el secado en rodajas de fruta de la carambola (*Averrhoa carambola L.*). La investigación se centra en la evaluación del ácido ascórbico a efectos de FIR, reducción del contenido de humedad y estableciendo la vitamina C como indicador de calidad de la calidad fruta seca.

Mediante este estudio el trabajo de tesis, se pudo determinar los resultados basados en los siguientes capítulos los cuales se desarrollaron de manera siguiente:

CAPITULO I: Se consolida el problema de investigación, que constituye la descripción y formulación del problema, así mismo, los objetivos y variables de estudio, operacionalización de variables, la hipótesis, justificación y consideraciones éticas, orientan el propósito de la investigación.

CAPITULO II: Marco Teórico, fundamenta el soporte científico, con base en la revisión bibliográfica de estudios que anteceden al presente trabajo de investigación, además hace referencia a información general y relevante respecto a la investigación realizada.

CAPITULO III: Metodología de investigación, describe el tipo y diseño de estudio, la población y muestra, métodos y técnicas utilizados durante el desarrollo del estudio, tratamiento de datos estadísticos experimentales.

CAPITULO IV: Resultado de trabajo de investigación, se presentan los resultados obtenidos en el trayecto de la investigación, se discute con los antecedentes y exhibe respectivamente las características fisicoquímicas, así como el efecto de la temperatura y tiempo en la degradación de la vitamina C. En el trayecto de la investigación se muestra el orden de reacción de la degradación térmica de la

vitamina C, el cálculo de la energía de activación de degradación térmica de la vitamina C, el efecto de la temperatura en las características fisicoquímicas, la reducción de humedad a distintas temperaturas en las rodajas de carambola y el análisis estadístico.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo por objetivo la evaluación del efecto de la radiación infrarrojo lejano en la degradación de ácido ascórbico (vitamina C) en rodajas de carambola (*Averrhoa carambola L.*). Las rodajas de fruta tuvieron espesor de 1.0 cm, para secar se expusieron a temperaturas de 40°C, 50°C y 60°C utilizando un deshidratador por infrarrojo lejano (DIRL). La humedad final se determinó con el método AOAC 934.06. El ácido ascórbico se evaluó por valoración con el colorante 2,6-diclorofenolindofenol. Los resultados que se obtuvieron indican que la cinética en la degradación térmica de la vitamina C en rodajas de carambola (*Averrhoa carambola L.*) a las temperaturas de proceso de 40°C, 50°C y 60°C durante cuatro horas, se ajusta a una reacción de primer orden y se degrada a una velocidad de 0.086 h⁻¹, 0.139 h⁻¹ y 0.003 h⁻¹ respectivamente. En cuanto al MANOVA se aprecia que existen diferencias significativas (p<0.05), por lo tanto, donde se observa que existen diferencia entre los grupos por lo que las propiedades físico químicas sí son influenciadas por la temperatura y tiempo, así como su interacción.

Palabras claves: Deshidratado, ácido ascórbico, 2,6 Diclorofenol indofenol, humedad.

ABSTRACT

The present research work aimed to evaluate the effect of far infrared radiation on the degradation of ascorbic acid (vitamin C) in carambola (*Averrhoa carambola L.*) slices. The fruit slices with a thickness of 1.0 cm were dried at temperatures of 40 ° C, 50 ° C and 60 ° C using a far infrared dehydrator (FIR) brand IRCONFORT model IRCDi-3 provided by the company Ama Foods SAC. Final moisture was determined with the AOAC 934.06 method. Ascorbic acid was evaluated by titration with 2,6-dichlorophenolindophenol dye. The results obtained indicate that the kinetics of thermal degradation of vitamin C in carambola slices (*Averrhoa carambola L.*) at process temperatures of 40, 50 and 60 ° C for four hours, is represented by the first order equation and degrades at a speed of 0.086, 0.139 and 0.003 h⁻¹. Regarding the MANOVA, it is seen that there are significant differences (p<0.05), therefore, where it is observed that there are differences between the groups so that the physical-chemical properties are influenced by temperature and time, as well as their interaction.

Key words: Dehydrated, ascorbic acid, 2,6 Dichlorophenol indophenol, moisture.

INTRODUCCION

La carambola (*Averrhoa carambola L.*) en el Perú se desarrolla en zonas tropicales: Satipo, Chanchamayo, Tingo María, Iquitos cultivados en centros de producción agropecuaria (Calzada B. J, 1980), así mismo, en la Región de Madre de Dios, se reporta una producción de 7.5 TM/Ha Dirección Regional de Agricultura (1995-1999)

Por sus características respecto al sabor, se tiene registrado dos tipos de carambola; son de tipo dulce y ácido, presentan pulpa jugosa con fragancia agradable, motivo de la importancia para preparar refrescos, mermeladas, jaleas y fruta deshidratada (Oclise et al., 1965).

Las investigaciones destacan su composición fisicoquímica y resalta el contenido de pro-vitamina A, β -caroteno, con transformación a vitamina A dentro de nuestro organismo, así mismo, la vitamina E, vitamina C y potasio (TastePerú 2002), que son importantes antioxidantes hidrosolubles con propiedades funcionales que coadyuva la mejora de la actividad de otros compuestos antioxidantes como las vitaminas A y E (Tello et al., 2002).

En la presente investigación se utilizó carambola en rodajas (*Averrhoa carambola L.*) de la variedad ácida, por ser la variedad predominante en la Región de Madre de Dios. En el contenido de la tesis, se expone las metodologías desarrolladas de deshidratación con asistencia de radiación de infrarrojo lejano y los resultados de los efectos de la variación de la temperatura en la degradación térmica de la vitamina C, la cinética de secado, pH, acidez total titulable, sólidos totales de las rodajas de carambola.

INDICE

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
PRESENTACION	
RESUMEN	
ABSTRACT	
INTRODUCCION	
CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	1
1.1 Descripción del problema	1
1.2 Formulación del problema	2
1.3 Objetivos.....	2
1.4 Variables.....	3
1.5 Operacionalización de las variables	3
1.6 Hipótesis.....	4
1.7 Justificación	4
1.8 Consideraciones éticas.....	5
CAPÍTULO II: MARCO TEORICO	6
2.1. Antecedentes de estudio	6
2.2. Marco teórico.....	8
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN	24
3.1. Tipo de estudio	24
3.2. Diseño del estudio	24
3.3. Población y muestra	24
3.4. Métodos y técnicas.....	27
CAPÍTULO IV: RESULTADOS DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN.....	34
4.1 Características fisicoquímicas de la carambola.....	34
4.2 Influencia de temperatura del proceso y el tiempo de degradación de vitamina C en rodajas de carambola (<i>Averrhoa carambola</i> <i>L.</i>).....	35

4.3	Determinación del orden de reacción en la degradación térmica del ácido ascórbico en rodajas de carambola.....	37
4.4	Cálculo de Energía de Activación para la degradación térmica de vitamina C en rodajas de carambola.	40
4.5	Efecto de la temperatura de proceso en las características fisicoquímicas.....	41
4.6	Determinación de la pérdida de humedad en rodajas de carambola a diferentes temperaturas.....	46
4.7	Análisis estadístico	48
	CONCLUSIONES.....	51
	SUGERENCIAS	52
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53
	ANEXOS	60

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Características de rendimiento comparativas de los secadores fir y convencional (B).....	13
Tabla 2: Producción de principales cultivos (t) año 2019.....	16
Tabla 3: Producción de los principales cultivos (t) 2020.....	16
Tabla 4: Minerales que se encuentran en la carambola.....	19
Tabla 5: Carotenos, vitaminas y ácidos presentes en la carambola.....	19
Tabla 6: Resultado de valores fisicoquímico de la carambola en estado natural..	34
Tabla 7: Contenido de vitamina c en las rodajas de carambola según temperatura de proceso.....	35
Tabla 8: Orden de reacción y coeficiente de degradación térmica de vitamina c en rodajas de carambola.....	39
Tabla 9: Valores de la energía de activación en la degradación térmica de vitamina c en rodajas de carambola.....	40
Tabla 10: Efecto de la temperatura de proceso sobre °brix.....	42
Tabla 11: Efecto de la temperatura de proceso sobre la acidez titulable (att)....	44
Tabla 12: Efecto de la temperatura de proceso sobre el ph.....	45
Tabla 13: Pérdida de peso (humedad) de la muestra de carambola.....	47
Tabla 14. Manova, prueba estadística "Wilks".....	49
Tabla 15. Manova, prueba estadística "Hotelling-Lawley".....	49
Tabla 16. Manova, prueba estadística "Pillai"	49
Tabla 17. Manova, prueba estadística "Roy"	49

CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Descripción del problema

La carambola (*Averrhoa carambola L.*) pertenece a la familia de las Oxalidáceas; su fruto es popular entre el público por su particular apariencia y su delicado sabor. La planta se cultiva en los países asiáticos, se ha introducido en América, especialmente en Brasil, la carambola tuvo acogida durante mucho tiempo por la población local por su eficacia en la supresión de niveles elevados de la glucosa en la sangre y su efecto en la presión arterial; las porciones medicinales incluyen la raíz, el tallo, la hoja y el fruto (Soncini et al., 2011)

La vitamina C, posee propiedad antioxidante y es muy soluble en agua componente esencial nutriente en la dieta, la deficiencia de vitamina C produce diversas enfermedades (por ejemplo, el escorbuto), que reduce la síntesis de colágeno en el organismo (Nisha et al., 2023).

La carambola es una fruta muy perecible, las tecnologías de preservación aún son escasas, existe vacío en la literatura científica respecto a los métodos y técnicas de secado con aplicación de tecnologías emergentes como uso de radiación infrarrojo, microondas y otros, además en la actualidad el consumo de la carambola es insipiente en la región de Madre de Dios, a pesar de sus bondades en las propiedades nutricionales, la fruta generalmente se pierde en lugar de la producción.

El problema analizado motiva a realizar investigación enfocado en aplicación de secado asistido por infrarrojo lejano como alternativa de un nuevo de método se

secado, con ventajas tecnológicas y ahorro de energía, para obtener frutas deshidratadas a bajo costo, con facilidad de transporte y almacenamiento. El uso de dicha técnica permite obtener producto de calidad con baja actividad del agua, libre de carga microbiano, además, con propiedades físicas de color, aceptable (Xu et al., 2017), (Sakare et al., 2020).

1.2 Formulación del problema

¿En qué medida afecta el secado con infrarrojo lejano la degradación de la vitamina C en rodajas del fruto de la carambola (*Averrhoa carambola L.*)?

1.3 Objetivos

Objetivo General

- Evaluar el efecto de la temperatura en el secado con infrarrojo lejano en la degradación de vitamina C en rodajas del fruto de la carambola (*Averrhoa carambola L.*)

Objetivos Específicos

- Evaluar la cinética de degradación térmica de la vitamina C, durante el secado por Infrarrojo Lejano (FIR) en rodajas de carambola (*Averrhoa carambola L.*).
- Evaluar la concentración de Ácido Ascórbico, pH, sólidos solubles y acidez total titulable bajo tres temperaturas de secado en rodajas del fruto de la carambola (*Averrhoa carambola L.*).
- Determinar la humedad final en las rodajas del fruto de carambola (*Averrhoa carambola L.*) secado con infrarrojo.

1.4 Variables

Variables Independientes

- Tiempo de secado
- Temperatura de secado

Variables Dependientes

- Propiedades físico químicas: contenido de vitamina C, Acidez titulable, pH, Sólidos solubles totales y contenido de humedad.

1.5 Operacionalización de las variables

Cuadro 1: Operacionalización de las Variables

Variable de estudio		Indicadores
Variable independiente	Temperatura	40°C, 50°C, 60°C
	Tiempo	0, 1, 2, 3, 4 horas
Variable dependiente	Ácido ascórbico	mg. de ácido. ascórbico/100g
	pH	pH
	Acidez titulable	g. de ácido cítrico/100g
	Sólidos totales	°Brix
	Humedad	%

1.6 Hipótesis

La vitamina C en el fruto de carambola (*Averrhoa carambola L.*), en rodajas se mantienen estables a efectos de la temperatura y el tiempo de secado por infrarrojo lejano.

1.7 Justificación

La carambola (*Averrhoa carambola L.*), es considerado como uno de los productos de autoconsumo tanto por agricultores y pobladores de nuestra región, ya sea en fresco o productos elaborados a partir de su pulpa como jugos o conservas; no logro posicionarse como un nicho de producto, debido a la falta o poca información técnica sobre su manejo y de las bondades nutricionales que ésta posee. Asimismo, es importante mencionar que tiene popularidad por la forma que tiene como estrella (Narain et al., 2001). Por otro lado, la revisión bibliográfica nos indica que la carambola posee un alto nivel de actividad antioxidante, bajo en calorías, alto valor nutricional en vitaminas A y C, y otros minerales como potasio, fósforo y calcio, muy importantes en la nutrición del ser humano (Navarro, 2011). Dado sus valores nutricionales apropiado para el consumo humano y a la información que esta provee, es importante intensificar darle la importancia que este se merece y propiciar una mayor comercialización a nivel nacional.

Es por ello la importancia del estudio del efecto de tratamiento térmico como parámetros de la calidad, en función del contenido y la degradación de vitamina C del mismo; siendo una alternativa los frutos y otros alimentos deshidratados, los cuales son útiles cuando se trata de encontrar alimentos frescos, o cuando se desean preservar por largos periodos de tiempo (Aguilera y Stanley, 1999).

Por consiguiente, el presente trabajo de investigación trata de estudiar los efectos de la radiación del infrarrojo lejano en las propiedades de la vitamina C en rodajas de carambola, en el cual se determinará los parámetros de tiempo y temperatura, de modo que la vitamina C de este fruto no se degrade totalmente y se conserve este importante componente de la fruta.

1.8 Consideraciones éticas

La presente investigación se encuentra enmarcado en evaluar los efectos de la temperatura sobre el contenido de vitamina C en rodajas de carambola (*Averrhoa carambola L.*) mediante un deshidratador por infrarrojo lejano (FIR).

Durante el desarrollo del presente trabajo de investigación no se realizaron pruebas, ensayos o experimentos restringidas por ley.

CAPÍTULO II: MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes de estudio

Hernández C, et al. (2011); realizaron estudios sobre el efecto del espesor de láminas de carambola (0,5; 1.0 y 1,5cm) y la temperatura de proceso (50, 55 y 60°C) sobre el tiempo de secado, así como el coeficiente de difusión, de las características fisicoquímicas y del análisis proximal del fruto seco. Los mejores resultados obtenidos se obtuvieron en un tiempo de secado de 2,74 h a 60°C y un espesor de 0,5 cm y a 12,41 h a 50°C con un espesor de 1,5 cm; existiendo una relación inversamente proporcional entre el aumento de la temperatura y el espesor de las láminas de carambola.

Matos & Chuquilín (2010); determinaron que la cinética en la degradación de vitamina C en el jugo fresco de carambola y a diferentes concentraciones (7,1 y 20°Brix); sometidos a diferentes temperaturas (60, 75 y 90°C) durante 5, 25 y 45 min. En el estudio se estableció una Energía de Activación (Ea) en el jugo fresco de 22,66Kj/mol y en las muestras de jugo concentrado 20,86 Kj/mol. Asimismo el estudio concluye que no existe diferencia significativa en la degradación de la vitamina C, concluyéndose que los temperaturas y tiempos de proceso no ejercen efecto la concentración final de la vitamina C en el jugo de carambola.

Góngora (2012); utilizó solución osmótica (SO) de sacarosa (55°Brix) y láminas de carambola para evaluar el efecto de la combinación del deshidratado osmótico y convectivo. Un grupo de láminas fueron sumergidas en dicha solución en una relación 1:15 a diferentes tiempos de deshidratación osmótica. Las láminas frescas y las sumergidas en SO fueron secados convectivamente a 50 y 70°C

con una velocidad de aire de 0,9m/s. El estudio determinó que a 100 min. de iniciado el deshidratado osmótico se presentan mayores efectos en las láminas de carambola; así mismo, el tiempo de secado convectivo óptimo es a 140 min a una temperatura entre 60-65°C, garantizando con ello el mayor tiempo de almacenamiento del producto final.

Mendoza & Quiñones (2005); evaluaron el efecto de un secador de lecho fluido en la retención de ácido ascórbico de camu camu y sus parámetros cinéticos. Las temperaturas de proceso utilizadas fueron de 50 y 60°C. Los parámetros cinéticos experimentales obtenidos fueron: Constante de velocidad (k) a 50°C de 0,0350h⁻¹ y, a 60°C 0,0516h⁻¹; un valor D a 50°C de 65,80h y a 60°C de 44,63h; un valor de Z de 59,17°C; Q10 igual a 1,47 y una Ea de 2,0814kcal/mol, y un contenido final de ácido ascórbico de 32583.67 mg/100g.

Mendoza, et al (2015), determinaron experimentalmente los parámetros cinéticos de la Vitamina C y la influencia del proceso de escaldado en el color de la pulpa de mango variedad Hilacha saturada al 20% con sacarosa. El orden de reacción en la degradación de la vitamina C es de uno en los diferentes tratamientos, el valor de k aumenta conforme se incrementa la temperatura en el proceso, el valor máximo es 0.061 min⁻¹ a 85 °C durante 10 min, la vida promedio y el valor D a 65°C y 85°C es de 11,23 min y 37,30 min respectivamente, y la Ea de 8.57 Kcal / mol.

Ordóñez, et al (2013), determinó en su trabajo la cinética de degradación de vitamina C en rodajas de guayaba con espesores de 0,53 cm y 6,10 cm de diámetro, temperaturas de proceso de 75,85 y 95°C durante 10, 20, 30 y 40 min en una marmita enchaquetada. Posterior al proceso térmico aplicado la concentración de vitamina C se reduce en 56, 70 y 60% respectivamente a la temperatura de proceso; el valor de k = 0,80 - 1,45 min⁻¹ (R² > 0,90), y Ea= 7,57 Kcal/mol. El orden de reacción de la vitamina C se ajustó al de primer orden. El estudio considera que la reducción de la vitamina C se incrementa, al aumentar la temperatura y tiempo del proceso.

Da Silva Santos, (2008), realizó el estudio de degradación del ácido ascórbico secando piña en una atmosfera modificada. Se evaluó en una etapa inicial, el estado de maduración de la piña el cual fue correlacionado con el contenido de solidos solubles, contenido de vitamina C y acidez titulable. Los experimentos de secado se realizaron en un secador con recirculación del gas de secado, donde la composición de este fue modificada por la adición de etanol. La modificación de la atmosfera de secado promovió una evaporación más intensa de agua, lo que redujo el tiempo de secado, y retuvo mayores valores de ácido ascórbico en el producto seco. Se determinó la cinética de degradación de los nutrientes para una de las condiciones estudiadas y es el modelo de Weibull que se ajustó adecuadamente a los datos.

Yamashita et al (2003); estudiaron la estabilidad de la vitamina C en pulpa pasteurizada de acerola en estado natural y congeladas, ambas almacenadas a -12°C y -18°C , y un jugo de acerola pasteurizado embotellado, manteniendo la temperatura ambiente, durante 4 meses de almacenamiento. Las pulpas congeladas no presentaron degradación significativa durante este periodo, sin embargo, las fruta en estado natural presentaron una cinética de degradación de 1° orden y el jugo, de orden cero. Después de 4 meses de almacenamiento las acerolas almacenadas a -12°C y -18°C presentaron valores de 869 ± 12 y $1,223 \pm 148$ mg vit C/100g, representando una pérdida de 43% y 19%, respectivamente, en relación al valor inicial. Pulpas a -12°C y -18°C presentaron valores de $1,314 \pm 6$ y $1,322 \pm 2$ mg vit C/100g, respectivamente, el cual representa una pérdida de aproximadamente 3% y el jugo presentó una pérdida de 32%, correspondiendo a un valor final de 673 ± 17 mg vit C/100g.

2.2. Marco teórico

Secado

El secado es una de las operaciones unitarias más antiguas y ampliamente utilizados para la preservación de alimentos, ya que posibilita una reducción en el

peso y tamaño del alimento, al disminuir el contenido de agua de la matriz alimentaria; con ello, la probabilidad de deterioro microbiano se reduce, al igual que otras reacciones de deterioro. El proceso de secado implica la transferencia de calor por uno o más de los tres mecanismos: conducción, convección y radiación (Paul Sing y Heldman, 2009).

Conducción: Este mecanismo de transferencia de energía se da de manera vibratoria entre una molécula a otra entre sólidos y se da por contacto directo entre ambos a diferentes temperaturas, y es más significativo, ya que las moléculas se encuentran más dispuestas y próximas que en materias líquidas o gaseosas (Paul Sing y Heldman, 2009).

El método de convección está asociado a líquidos y gases, porque el calor es transferido a causa del movimiento masivo de un fluido; el cual transporta el vapor de agua generado durante el secado del alimento. La tasa de transferencia de calor por convección es proporcional a la diferencia de temperatura (Smith, 2011).

Sin embargo, la radiación se atribuye a la transferencia de energía por ondas electromagnéticas, precisamente, la radiación térmica se da en el espectro electromagnético con longitudes de onda entre 10^{-7} y 10^{-4} m (Smith, 2011).

Secado de alimentos

El secado es una técnica de preservación de alimentos que se fundamenta en reducir el contenido de humedad a niveles que inhiban el desarrollo microbiano y que minimicen las reacciones químicas. Para el desarrollo de bacterias, hongos o moho; es necesario un contenido mínimo de humedad disponible para estas reacciones, de igual manera; la velocidad de desarrollo de estos microorganismos disminuye con un contenido reducido de humedad. Este proceso requiere la eliminación del agua de la matriz alimentaria sólida o líquida por evaporación, por lo que necesita energía térmica; proporcionado en muchas veces en forma de vapor o aire caliente (Paul Sing y Heldman, 2009).

Aparte de prolongar la conservación del alimento, el secado proporciona un fácil manejo, reduce el peso y por tanto reduce los costos de transporte. Opcionalmente, el proceso de secado puede considerarse como única operación de procesamiento, o estar presente en una de dos categorías. Primero, que la etapa de secado sea el principal proceso (ejemplo, secado por aspersión en leche) y tenga como resultado un producto con una forma muy diferente, obteniéndose un sólido a partir de un líquido con capacidad de reconstituirse al añadirse agua. En segundo lugar, que el secado sea una etapa dentro de un proceso más complejo, se requiere un contenido mínimo de humedad y precede a proceso de mezclado o reducción de tamaño (Paul Singy Heldman, 2009).

En alimentos sólidos que se eliminan contenido de agua, debería reproducirse estructura, apariencia y sabor similar al alimento inicial después de ser reconstituido; no obstante, la alteración en el aspecto y dificultad en recuperar las características originales son parte de las desventajas del proceso de secado (Meshram et al., 2023).

Al eliminar agua del tejido alimentario, este, es afectado en su estructura; por lo que se requiere un control en la velocidad de secado y temperatura del proceso que permitan obtener un producto de calidad. Del mismo modo, la estructura del tejido consigue influir en la manera como se elimina el agua en la matriz alimentaria y en la velocidad de secado (Paul Sing y Heldman, 2009).

Infrarrojo

La radiación infrarroja (IR) son radiaciones electromagnéticas en el rango de longitud de onda de 0,78 a 100 μm con dependencia tanto espectral como direccional. Se conocen dos sistemas de emisión de calor por infrarrojos: eléctrico y gas. El calentador eléctrico emite radiación al pasar corriente eléctrica mediante de una resistencia, aumentando su temperatura; mientras que los calentadores de gas producen combustión en la superficie del quemador mediante la ignición de la corriente de aire y combustible premezclados (Mishra y

Woltering, 2023).

Existen tres clasificaciones en las que se pueda categorizar la IR: radiación infrarroja cercana (NIR), infrarroja media (MID) e infrarroja lejana (FIR) y eso depende de la temperatura de la fuente. Se ha de considerar la dependencia espectral del calentamiento por infrarrojos porque la energía que sale del emisor comprende unas diferentes longitudes de onda, y la fracción de radiación en cada banda depende de varios factores, como la temperatura del emisor y su emisividad (Pawar y Pratape 2017).

El total de radiación que se libera de un cuerpo emisor por unidad de área y por unidad de tiempo, se conoce como poder de emisión total y está supeditado a las características de la superficie y temperatura del cuerpo. Esta energía liberada puede emitirse en múltiples direcciones y longitudes de onda. La absorción de radiación es determinada por la propiedad de emisividad de los productos alimentarios, sometidos a radiación IR; asimismo, la cualidad de un producto para absorber esta energía depende tanto de la longitud de onda de la fuente como de la composición de la superficie (Pawar y Pratape, 2017).

Se ha reportado que la energía IR puede transferirse de la fuente emisora al material sin necesidad de calentar el aire de su entorno, y calentar de igual manera los materiales a su alrededor, favoreciendo el incremento de la temperatura y contribuir en reducir el contenido de humedad del material (Pawar y Pratape, 2017).

Deshidratado por Infrarrojo Lejano

El secado por infrarrojos se está convirtiendo en una fuente importante de tratamiento térmico en la industria alimentaria debido a ventajas como equipos compactos, rápida respuesta transitoria, ahorro de significativo de energía y fácil acomodo con sistemas por convección, conducción y microondas (Mishra y Woltering, 2023).

El agua y la composición orgánica de los alimentos observen significativamente la

radiación IR, básicamente a 3 y 6 μm . La radiación MIR a 3 μm y la radiación FIR a 6 μm son consideradas ondas de longitudes idóneas para utilizarse en secadores por infrarrojos a gran escala en la industria alimentaria. Los alimentos cuentan con dos propiedades elementales para utilizar un secador por radiación IR, la mayoría de los alimentos presentan una alta transmisividad espectral a longitudes de onda menores a 2,5 μm aproximadamente y la transmisividad/absortividad total se modifica durante el secado con respecto al contenido de agua (Pawar y Pratape, 2017).

El uso del secado por IR se utiliza tanto en alimentos y productos no alimenticios. El uso en alimentos permite mejorar su estabilidad, ya que se reduce la actividad de agua inhibiendo el crecimiento microbiológico durante el almacenamiento. El espectro de absorción de IR en alimentos y material orgánico no alimenticio, varía; por lo que las longitudes de ondas máximas de IR serán diferentes según el producto a secar (Pawar y Pratape, 2017).

Aplicación del secado por Infrarrojo Lejano (FIR)

La literatura reporta la aplicación de radiación IR para procesos de horneado, tostado y calentamiento, cuyo éxito ha sido reflejado en el horneado de pan, galletas y pastas; tostado de café y té verde, deshidratado de camote y castañas; calentamiento de ostras y huevos. El rápido aumento de temperatura en la superficie de productos alimenticios por FIR permite conservar compuestos de sabor o aroma sin quemar su superficie y obtenidos productos como mejores características sensoriales (Sakai y Hanzawa, 1994).

Disminuir la actividad acuosa de las frutas frescas es una forma tradicional de alargar la vida útil, conservar los valores nutricionales y reducir los costes de envasado y transporte; también es una forma eficaz de mitigar el desperdicio y la pérdida de alimentos. Mientras algunos alimentos son procesados, por ejemplo productos de confitería y panadería, sin embargo, las frutas pueden ser secadas con IR, listas para el consumo (Breidt, 2023).

Tabla 1: Características de rendimiento comparativas de los secadores FIR y convencional (B)

a) Horno para hornear galletas de arroz:			
Criterio de comparación	Tipo de horno		FIR performance (A/B)x100%
	FIR (A)	LPG (B)	
Consumo de calorías	223 200 kj/h	836 000 kj/h	26.70%
Tasa de producción	10000 piezas/h	10000 piezas/h	100%
Tiempo de horneado	10 min	15 min	66.70%
b) Horno para asar pasta de pescado			
Criterio de comparación	Tipo de horno		FIR performance (A/B)x100%
	FIR (A)	Nichrome (B)	
Longitud del horno	9 m	19 m	47.4%
Tasa de producción	1470 kg/día	500 kg/día	294.0%
Consumo de energía eléctrica	0.06 kW/kg	0.23 kW/kg	26.1%
Adapted from Rei. 28			
LPG. Liquefied Petroleum gas			

Fuente: Sakai y Hanzawa, (1994)

Horneado de Pan:

Durante el proceso de horneado de pan, se aprecia que la superficie se produce cuando la temperatura alcanza cercana a los 100°C. El agua comienza a evaporarse y se desarrolla en el producto una zona en la que la mayor parte de la energía suministrada se utiliza para transformar el agua en vapor. Los productos de la reacción contribuyen al color característico de la corteza, pero también al sabor del pan. Una de las ventajas de la técnica de infrarrojos, en comparación con el horneado convencional, es que el tiempo de horneado puede reducirse entre un 25% y un 50%, dependiendo del espesor del pan (Skjöldebrand y Andersson, 2016).

Tostado de café y té verde

Los aromas producidos durante el tostado proporcionan características sensoriales únicas al café y té verde. Las condiciones de calentamiento para desarrollar estos aromas y sabores suaves son fácilmente controlables utilizando un secador FIR (Sakai y Hanzawa, 1994).

Asado de camote y castañas

Tanto el camote y castañas, presentan mejores características sensoriales cuando son tostadas con FIR que por otros métodos; esto se debe a que en el camote existe una diferencia en el contenido de maltosa. El máximo contenido de maltosa no depende del tipo de secador, pero si del tiempo necesario para incrementar la temperatura central del camote de 338°K a 353°K. Mediante el calentamiento por FIR durante 8 min aproximadamente, se obtiene la máxima concentración de maltosa necesaria para mejorar su calidad sensorial (Sakai y Hanzawa, 1994).

Calentado de ostras

Las ostras normalmente se almacenan congeladas y requieren ser descongeladas para su consumo, durante este proceso, se generan escurridos y pérdidas de nutrientes solubles en agua presentes en las ostras. Para evitar estas

pérdidas, se calientan las ostras mediante FIR antes de ser congeladas, obteniéndose un producto final de mayor calidad; puesto que el calentamiento por FIR incrementa la densidad de una capa delgada en la superficie, impidiendo la pérdida por escurrido (Sakai y Hanzawa, 1994).

Calentado de Huevos

El calentamiento mediante FIR permite cocer huevos sin necesidad de agua, proporcionándoles las siguientes características:

- La clara y yema mantienen sus colores brillantes.
- Los microorganismos no consiguen ingresar dentro de los huevos.
- El riesgo de quebrado de la cáscara se reduce al no estar en contacto entre sí.
- Es indispensable lavar el exterior de los huevos cocidos por este método, ya que se forman motas marrones (Sakai y Hanzawa, 1994).

Carambola (*Averrhoa carambola L.*)

La carambola (*Averrhoa carambola L.*) es una planta tropical perenne cuyo fruto es reconocido por su forma estrellada. A nivel nacional existen unas 498.41 Ha instaladas y una producción total de 3628.07 t (MIDAGRI, 2020). A nivel de la Región Madre de Dios, siendo la Dirección Regional de Agricultura quien reporta los siguientes datos referente al cultivo de carambola.

Tabla 2: Producción de principales cultivos (t) año 2019.

Cultivos	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
Total	71672	76518	75992	76073	76591	75260	75793	70650	77500	93457	90280	91288	951075
Achiote	0	0	0	1.28	2.94	0	0.81	0	0	0	0	0	5.03
Araza	0	0	0	0	0	0	13.5	16.44	5.1	0	0	0	35.04
Arroz	748.8	1493.7	1321.5	313.55	217	243	314	294	395	380	263	305.2	6288.75
Cascara													
Brachiaria	70748	74821	74400	75420	76004	74630	75025	69971	76773	92843	89786	90751	941172
Caca0	19.81	31.15	57.55	114.3	180.1	179.2	192.3	149.49	142.71	58.3	32	23.37	1180.28
Café	0	0	2.88	4.31	4.72	0.49	0	0	0	0	0	0	12.4
Caigua	0	0	0	0	0	0	4.6	4.5	0	0	0	0	9.1
Caimito	0	0	0	0	0	0	4.5	23.53	18.3	0	0	0	46.33
Camote	32.7	38.05	36.75	40.9	27.7	34.9	41.7	44.1	39.6	44.4	48.3	40	469.1
Caña de azucar	112.5	126	161.3	166.7	141	158	183.5	136.3	114.5	120.3	137	158.9	1716
Carambola	10.2	8.29	12.51	12.3	13.61	14.47	13.35	10.55	11.84	11.03	13.45	9.79	141.39

Fuente: OEAI, (2019)

Tabla 3: Producción de los principales cultivos (t) 2020.

Cultivos	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
Total	8345	9541	8910	8926	9076	8328	7006	6857	6253	6884	8198	9499	97827
	0	2	7	4	1	8	3	1	3	3	7	7	7
Achiote	0	0	0	0.49	5.13	0	0.16	0	0	0	0	0	5.78
Araza	0	0	0	0	0	0	15.79	16.58	6.8	0	3.2	0	42.37
Arroz	1119.	2452.	1420.	465.8	131	153	210	208	215	259	353	505.3	7492.
Cascara	2	3	8										4
Brachiaria	8207	9269	8739	8843	9018	8270	6940	6791	6194	6773	8136	9418	96602
	5	5	5	0	9	0	2	8	8	0	5	0	7
Caca0	24.84	41.08	79.95	144.5	199.3	197.1	172.3	140.1	125.2	588.4	32	29.8	1774.
						5	5	5					72
Café	0	0	2.99	6.11	6.48	0	0	0	0	0	0	0	15.58
Caigua	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Caimito	0	0	0	0	0	11.6	24.5	9.3	0	0	8	0	53.4
Camote	37.9	37.09	29.5	29.3	34.2	44.9	39.8	47.8	37.2	33.7	36.7	50.2	458.2
													9
Caña de azúcar	185	178	170.3	178.5	183.5	170.2	183.5	217	189	220	176	221	2272
Carambola	7.78	8.85	8.48	9.55	12.58	11.53	14.57	14.16	12.12	11.67	12.88	11.03	135.2

Fuente: OEAI, (2020)

En el año 2019 la Oficina de Estadísticas Agrarias de la DRA Madre de Dios reportó una producción anual de carambola de 141.39 t y en el 2020 135.2 t; representado una reducción en la producción de 6.19 t.

Clasificación Taxonómica

DIVISIÓN: Fanerógamas

SUBDIVISIÓN: Angiosperma

CLASE: Dicotiledónea

ORDEN: Oxalidacea

FAMILIA: Oxalidaceae

GENERO: Averrhoa

ESPECIE: carambola

NOMBRE COMÚN: Carambola

Brack A. E (2001)

Descripción botánica

La carambola es una planta leñosa de crecimiento lento, con múltiples tallos y un tronco corto, se desarrolla mejor a alturas entre 6 a 9 m. Posee un aspecto tupido que producen una copa ancha y tronco que puede medir hasta 15 cm de diámetro (Muthu et al., 2016). Así mismo posee folíolos que se pliegan durante la noche, mostrando sensibilidad a la luz y golpes, como movimientos bruscos de las hojas. La planta de carambola genera racimos de flores rojas, lilas o púrpuras con cinco pétalos (Ver Figuras 1, 2a y 2b). El fruto en su estado inmaduro presenta un color verde oscuro y amarillo cuando están maduros. Poseen una pulpa carnososa con 5 lados y tienen una textura crujiente (Muthu et al., 2016).



Figura 1: Árbol de Carambola (*Averrhoa carambola L.*)



a.



b.

Figura 2: a) Flores de carambola en racimo, b) Frutos de carambola maduros.

Atributos nutricionales de la carambola (*Averrhoa carambola L.*)

La carambola es fuente de varios minerales y vitaminas. Además de ser una rica fuente de antioxidantes naturales como el ácido L-ascórbico (vitamina C) y el ácido gálico, vitaminas que contribuyen a eliminar las especies oxidativas

reactivas (ROS); cuentan también con magnesio, potasio, fósforo y betacarotenos (Muthu et al., 2016).

Tabla 4: Minerales que se encuentran en la carambola.

Mineral	Cantidad (mg/110g carambola)
Sodio	3,8 - 3,85
Potasio	167,13 - 168,0
Calcio	6,37 - 6,40
Fósforo	17,87 - 17,88
Magnesio	11,85 - 12,05
Hierro	0,34 - 0,45
Cobre	0,19 - 0,45
Zinc	0,29 - 0,51
Manganeso	0,04 - 0,52
Selenio	No detectable

Fuente: Muthu et al., (2016)

Tabla 5: Carotenos, vitaminas y ácidos presentes en la carambola.

Nombre	Cantidad (mg/110g peso carambola)
Carotenos	0,003 - 0,55
Ácido tartárico	4,37
Ácido oxálico	9,6
Ácido cetoglutárico	2,2
Ácido cítrico	1,32
Vitamina B1 y B2	0,12
Vitamina C	25,8

Fuente: Muthu et al., (2016)

La ingesta de carambola inhibe un efecto hipocolesterolémico e hipolipidémico, mejorando la eliminación de colesterol, lípidos y ácidos biliares junto con los excrementos (Muthu et al., 2016).

Varios estudios reportan que la carambola contiene proantocianinas que realizan una acción antioxidante al igual que la vitamina C y ácido gálico. El objetivo de los antioxidantes es eliminar ROS como los peróxidos. Generalmente los ácidos grasos son susceptibles al daño oxidativo por peróxidos e hiperperóxidos. El consumo habitual de carambola ayuda a eliminarlas toxinas del cuerpo y favorece al sistema inmunológico a protegerse contra el cáncer, daño por ROS y lipoperoxidación (Muthu et al., 2016).

La bibliografía muestra que la carambola posee magnificas propiedades, pero se ha estudiado que debido a su alto contenido de oxalato representa una amenaza para la salud en pacientes con enfermedades renales crónicas. Estos pacientes son incapaces de expulsar eficientemente sustancias tóxicas de su cuerpo, siendo afectados severamente por los oxalatos. En un estudio toxicológico con ratones, al suministrarles extractos de carambola superiores a 8g/kg provocó convulsiones y su posterior muerte (Muthu et al., 2016).

Vitamina C (ácido ascórbico)

La vitamina C es un compuesto importante para el desarrollo estructural en el cuerpo, contribuye en la producción de colágeno, transportador de grasa, regula el colesterol y estimulante inmunológico (Pacier y Martirosyan, 2015).

Existen diferentes métodos de determinación de vitamina C en un alimento: método de valoración por yodo, titulación por 2,6 diclofenolindofenol, espectrofotómetro y cromatográficos. Estos últimos dos métodos requieren de equipos especializados. Los alimentos en general presentan una matriz compleja, contiene más agentes reductores diferentes a la vitamina C. La titulación por yodometría no es eficaz para medir el nivel de vitamina C presente en el alimento, ya que este no es selectivo y reacciona oxidando con todos los

agentes reductores además de éste. La titulación con 2,6-diclorofenol indofenol es más selectivo para la vitamina C, ya que solo oxida a éste y no otros agentes reductores (Tantray et al., 2017).

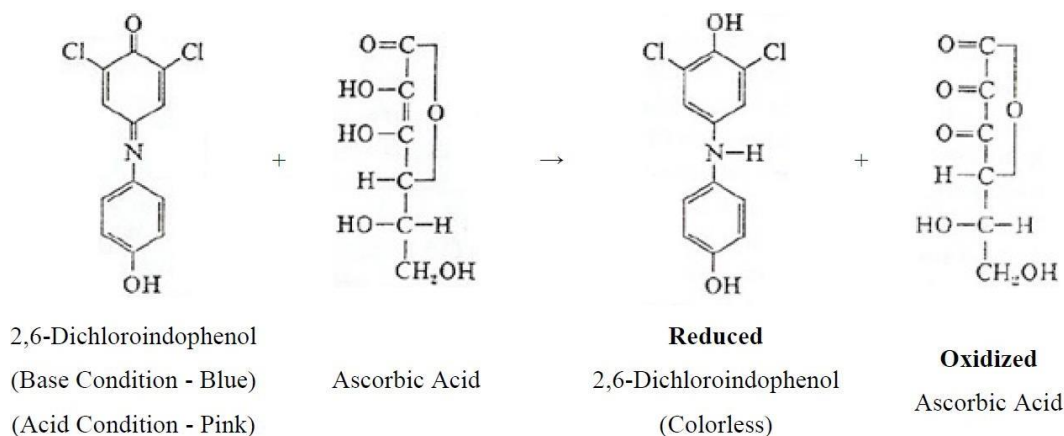


Figura 3: Reacción de Vitamina C y 2,6-diclorofenolindofenol (Nerdy, 2018).

Los valores diarios de ingesta de vitamina C recomendados bordea los 60 mg/día en adultos; sin embargo, esta vitamina es inestable y su tasa de deterioro depende de las condiciones ambientales como temperatura y actividad de agua. Durante un proceso de secado, las pérdidas de vitamina C se encuentra entre el 10 y 50%.

Para modelar la degradación de la vitamina C se asume que es una reacción de degradación monomolecular:



La cinética de la degradación de la vitamina C viene representada por la ecuación 1:

$$-\frac{dC}{dt} = kC^n \quad (1)$$

Esta ecuación se transforma en:

$$\ln\left(-\frac{dC}{dt}\right) = \ln k + n \ln C \quad (2)$$

La gráfica del $\ln(-dC/dt)$ versus $\ln C$ da una línea recta, cuya pendiente representa el orden de la reacción (n). La relación entre la velocidad de reacción y la temperatura es representada por la ecuación de Arrhenius (ecuación 3):

$$k = A_0 \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \quad (3)$$

Donde E_a es: energía de activación de la reacción, R es: la constante de los gases, T es: la temperatura absoluta y A_0 es: una constante pre exponencial,

Definición de términos

Vitamina C: vitamina soluble en agua, termolábil y predispuesto a la oxidación tanto enzimática como química, su concentración confiere un factor de calidad en zumos de frutas (Yeasmin et al., 2020).

Secado: es la aplicación de calor en condiciones controladas para remover la mayor cantidad de agua presente en un alimento mediante evaporación (Paul Sing y Heldman, 2009).

Secado por Infrarrojo Lejano: emplea energía de radiación IR para calentar el alimento. Esta energía es transferida directamente sin presencia de fluido alguno, la radiación generada provoca un incremento en la temperatura interna del alimento y oscilaciones a nivel molecular (Aghajanzadeh, Kashaninejad y Ziaifar, 2016).

Cinética de degradación: estudia la rapidez de una reacción química y su variación de su concentración con respecto al tiempo (EcuRed, 2020), y siguiendo la ley de masas, esta reacción es de igual proporción a la concentración de los reaccionantes; la rapidez o velocidad de reacción disminuye conforme se consumen o degradan (Mendoza y Quiñones, 2005).

Reacción de primer orden: esta reacción grafica la rapidez de una reacción por la concentración de los reaccionantes, siendo proporcional a la primera potencia de una sustancia reaccionante (Mendoza y Quiñones, 2005).

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación se desarrolló en los ambientes del laboratorio de Procesos Agroindustriales, de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la UNAMAD, ubicado en la ciudad de Puerto Maldonado, departamento de Madre de Dios, longitud O69°11'20.87" y latitud S12°35'35.92"

3.1. Tipo de estudio

El presente trabajo es una investigación experimental enfocada en la deshidratación de frutas con efecto de radiación de infrarrojo lejano.

3.2. Diseño del estudio

Es una investigación cuantitativa y experimental que tiene la finalidad evaluar el efecto de la variable independiente en las variables dependientes (Hernández Sampieri et al., 2014).

3.3. Población y muestra

Población

El universo y/o población son los frutos frescos y maduros de carambola (*Averrhoa carambola L.*) fisiológicamente maduros, obtenidas de los huertos familiares en el distrito y provincia de Tambopata, departamento de Madre de Dios

Muestra

Se trabajó con muestras no probabilísticas (Kempf-Leonard, 2005) de carambola (*Averrhoa carambola L.*), de la variedad ácida, que es la variedad más común, el cual fue adquirida de los huertos familiares dentro de Puerto Maldonado, distrito y provincia de Tambopata, departamento de Madre de Dios. Las frutas fueron seleccionadas con las siguientes características físicas, sanas, enteras y libres de toda materia extraña visible, plagas que puedan afectar el aspecto del fruto, así como de cualquier olor y sabor extraño, de consistencia firme, fresco aspecto brillante en la piel, asegurando así una materia prima uniforme.

Materiales

Los materiales y materia prima utilizados en el presente trabajo de investigación son los siguientes:

Materia Prima

El fruto maduro de carambola (*Averrhoa carambola L.*) de variedad ácida.

Materiales de laboratorio

- Buretas 50 ml.
- Soporte universal.
- Pipetas 5, 10 ml.
- Pera de succión.
- Vaso de precipitados 20, 50 ,100 ml.
- Probeta 50 ml.
- Baguetas
- Matraz Erlenmeyer 50 ,100 ml.
- Fiolas 25 ,50 ,100, 250, 1000 ml.

- Embudos de vidrio 75 ,90 mm.
- Cucharilla.
- Picetas 0,25 y 1 L.
- Hisopos
- Papel filtro Whatman N°4

Equipos

- Balanza analítica Mettler AE160 (precisión 0.1 mg).
- Estufa deshidratadora de 3 bandejas marca IRConfort, Modelo IRCDi3
- Selladora de bolsas marca SAMWIN, modelo SF300S.
- Refractómetro digital Fisher científico Abbe-3
- Potenciómetro SCOTT GERATE CG 840B.
- Determinador de Humedad Marca KERN, modelo KERN MLB 50-3N

Reactivos

- 2,6 Diclorofenol Indofenol (DCFI) P.A. (Sal sódica) MP(U.S.A.) Mod.150118.
- Ácido Oxálico Q.P.
- Ácido Ascórbico (Vitamina C)
- Bicarbonato de Sodio Q.P.
- Hidróxido de Sodio (0.1 N)
- Agua destilada
- Fenolftaleína

3.4. Métodos y técnicas

Metodología experimental de cinética de degradación de la vitamina C

La cinética de degradación de la vitamina C, se determinó mediante el modelo de cinética de primer orden que describe (Aghajanzadeh, Kashaninejad y Ziaifar, 2016) (ecuación 4)

$$\ln \left(\frac{A}{A_0} \right) = -k \cdot t \quad (4)$$

Donde A y A₀ son valores residuales e iniciales de los parámetros (vitamina C), respectivamente. La “k” es constante de velocidad de inactivación (min⁻¹) y “t” representa el tiempo de degradación (min). El tiempo requerido para la reducción del 90% de los nutrientes y los factores de calidad de las rodajas de carambola se denomina tiempo de reducción decimal (valor D) que se asocia de manera inversa a la constante de velocidad de reacción.

$$D = 2.303/k \quad (5)$$

El procedimiento experimental se desarrolló estableciendo los siguientes pasos:

Preparación de la muestra.

Se realizó lavado manual con agua potable, con la finalidad de eliminar los restos de tierra existente y otros, las frutas se sumergieron en agua clorada con Hipoclorito de sodio a 5 ppm durante 5 minutos, luego se cortaron las frutas manualmente con cuchillo de acero inoxidable procurando obtener rodajas de 1.0 cm de espesor.

Deshidratación con Infrarrojo lejano (FIR)

El deshidratado se realizó en un deshidratador por infrarrojo lejano (FIR, por su sigla en inglés) marca IRCONFORT modelo IRCDi-3, proporcionado por la empresa Amazon Foods Trading S.A.C.

Para iniciar el proceso de deshidratado se programó el termostato de cada

bandeja con 30 minutos de anticipación para propósito de alcanzar la temperatura requerida del experimento, de manera que al momento de iniciar la deshidratación las placas hayan alcanzado la temperatura óptima de trabajo (40°C, 50°C y 60°C). Las rodajas de carambola se expusieron en cada bandeja del deshidratador a una potencia de 221W de radiación constante de FIR en cada bandeja. Finalizado el proceso de deshidratación, se posicionó el termostato en modo apagado y se retiraron las bandejas con muestras deshidratadas para ser analizados las características químicas.

Análisis de características de rodajas de carambola deshidratadas

- **Determinación de vitamina C**

La vitamina C en las rodajas deshidratadas de carambola, se determinó por método de titulación. Se pesó 25g de muestra, luego se añadió en un vaso de precipitado 50 g. de solución de ácido oxálico (2%), después de filtrar se tomó una alícuota de 10 ml y se diluyó en un balón volumétrico de 50ml. Luego de tomar una alícuota de volumen conveniente de esta solución se tituló con 2,6-diclorofenolindofenol hasta obtener un punto de cambio con aparición de color rosa, el cálculo de vitamina C se efectuó con la Ecuación 6

$$\frac{mg}{100g} = \frac{V.DCFI}{V.DCFI \text{ estandar (ml)}} \times \frac{100g}{m \text{ muestra (25 g)}} \times \frac{m \text{ solvente} + m \text{ muestra tratada (g)}}{m \text{ alicuota (10g)}} \times \frac{V. \text{balon (50ml)}}{V. \text{aliquota (ml)}} \quad (6)$$

Las muestras se trataron con soluciones tampón estabilizadoras y, posteriormente, el filtrado extraído se añadió a la solución de 2,6-diclorofenolindofenol, y la absorbancia se midió a 520 nm. El contenido de vitamina C se expresó como mg 100 g⁻¹ de materia seca. Todas las mediciones se realizaron por triplicado.

Para la determinación de vitamina C en las rodajas de carambola se realizaron

los siguientes pasos:

- **Sólidos solubles**

Se determinó a través del refractómetro digital a la temperatura de 20°C. AOAC 931.12 (2005).

- **Acidez titulable**

Se realizó la titulación mediante valoración de muestra con NaOH 0.1 N, y fenolftaleína como indicador expresado en porcentaje de ácido cítrico con peso equivalente a 64.04. AOAC 942.15 (2005).

$$\% \text{ Acidez} = \frac{Vb \times N \times \text{Milieq} \times}{Va} \times 100 \quad (7)$$

Dónde: Vb, volumen en ml, gastado por la base, N, normalidad de la base, Milieq, milequivalente del ácido predominante en la muestra ácida, Va, volumen del ácido.

- **pH**

Se determinó a través de la valoración potenciométrica con un pH-metro. AOAC981.12 (2005)

- **Humedad**

El contenido de la humedad se calculó mediante diferencia de pesos por calentamiento en balanza analítica antes y después de secado.

$$\% \text{ Humedad} = \frac{W_{húmeda} - W_{seca}}{W_{muestra}} \times 100\% \quad (8)$$

Dónde: W húmeda: peso de la placa Petri más la muestra húmeda antes de llevar a la estufa, W seca: peso de la placa petri junto a la muestra seca después de llevarlo a la estufa, W muestra: es el peso fresco de la muestra.

Descripción del flujo de proceso para el sacado de rodajas de carambola.

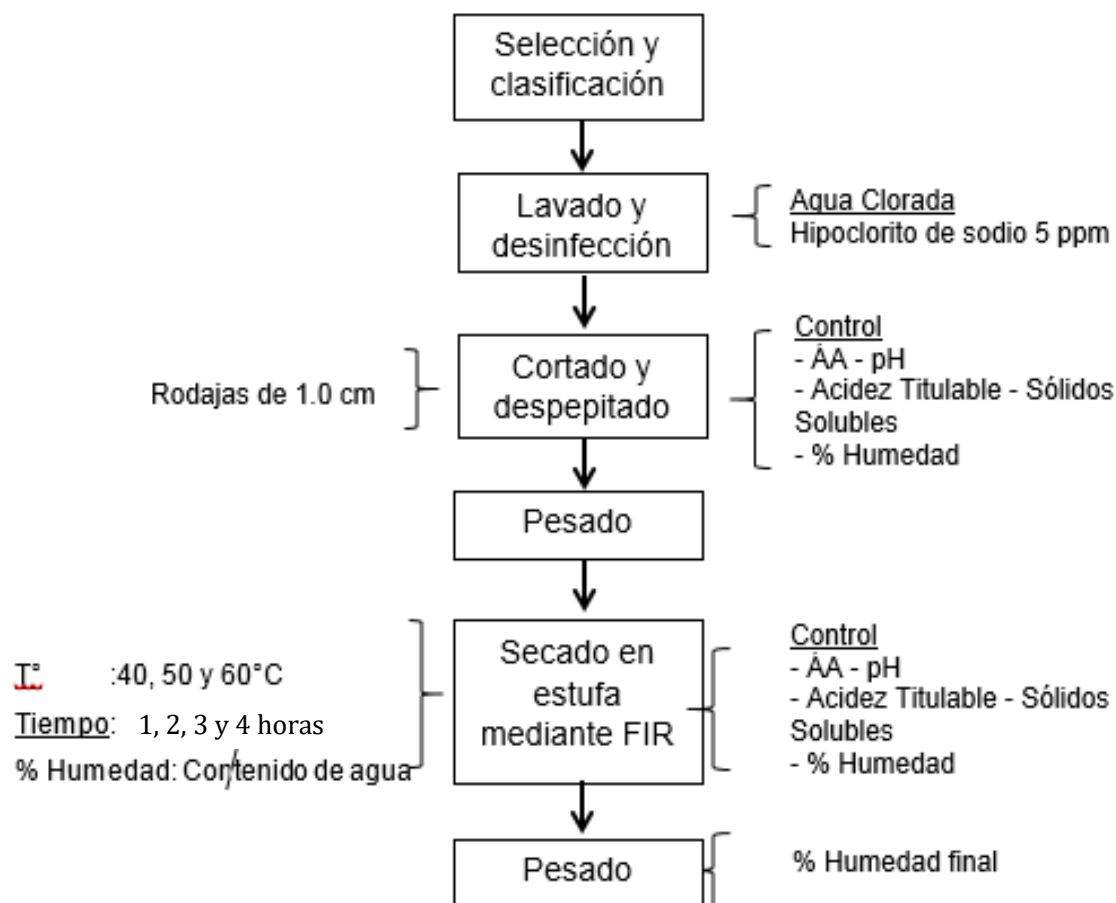


Figura 4: Diagrama de flujo para el secado y determinación de humedad en rodajas de carambola (*Averrhoa carambola L.*)

Obtención de la Materia prima: Los frutos de carambola fueron colectados en estado maduro de la variedad acida, en bolsa de rafia y trasladados al laboratorio de Procesos Agroindustriales de la Universidad Nacional Amazónica de Madre deDios.

Selección y clasificación: Se inició pesando la fruta, luego se seleccionaron por grado de madurez y tamaño, se eliminaron las frutas con defectos, para observar el rendimiento, se pesaron en cada etapa del proceso determinando así el rendimiento.

Lavado y desinfección: Se efectuó lavado manual, utilizando agua potable del grifo con la finalidad de eliminar todos los residuos de tierra y materiales extraños, posteriormente para desinfectar, se sumergieron las frutas en agua con Hipoclorito de sodio 5 ppm por 5 minutos.

Cortado: Se cortó en rodajas de 1.0 cm de espesor la fruta con cuchillo de acero inoxidable.

Pesaje: se realizó la operación de pesaje antes y posterior del secado con el propósito de realizar controles.

Secado: Las rodajas se colocaron dentro de las bandejas de acero inoxidable del secador FIR de 3 bandejas de la marca IR Confort Modelo IRCDi3 a 3 temperaturas constantes (40, 50 y 60°C) hasta obtener una humedad estable.

Pesado: Se realizó nuevamente el pesado después del secado para determinar la pérdida de humedad contenida en las rodajas de carambola.

Diseño experimental: La presente investigación se desarrolló utilizando el “Diseño completamente al azar” (DCA), las unidades experimentales se asignaron aleatoriamente en cada bandeja de secado con temperatura de 40°C, 50°C y 60°C asistido con irradiación de infrarrojo lejano a 221W. El esquema de los tratamientos se presenta en la figura 5.

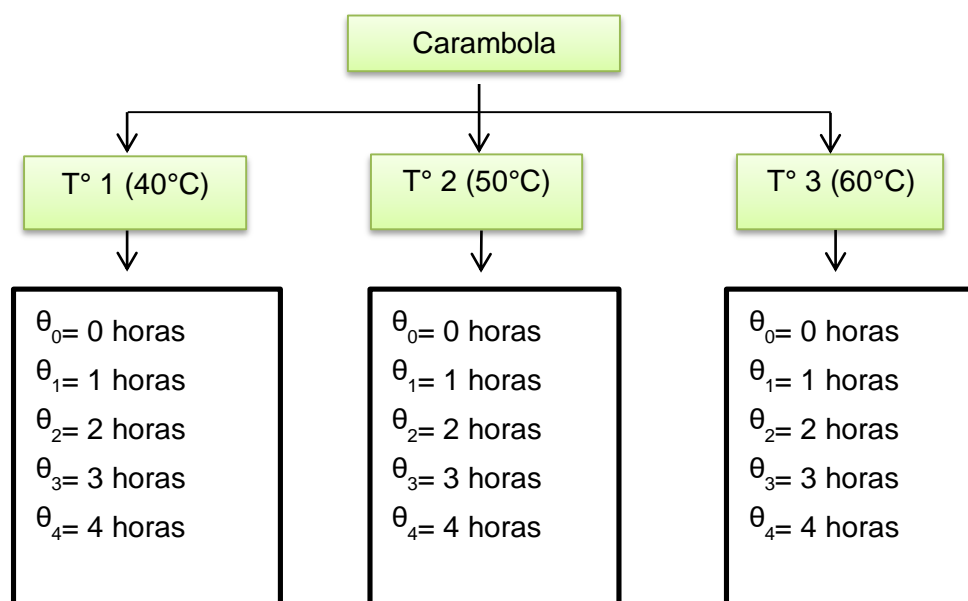


Figura 5: Diseño experimental.

3.5. Diseño experimental y análisis estadístico.

Los resultados finales de las variables estudiadas como Vitamina C, Acidez Titulable, pH, Sólidos solubles y Humedad a diferentes temperaturas se analizaron mediante la media, desviación estándar (SD) y análisis multivariado (MANOVA) seguido de Análisis discriminante ecuación. Las hipótesis se verificaron con nivel de significancia ($p \leq 0,05$). Los datos se analizaron utilizando el Software Microsoft Excel, Origen Pro versión 2021b (64-bit) SR1 y RStudio versión 3.4.0 (2017).

El análisis multivariado de la varianza (MANOVA), se aplicó para determinar la existencia de diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre las variables de respuestas estudiadas Vitamina C, Acidez Titulable, pH, Sólidos solubles y Humedad se presentan como un vector, la media de cada vector X_1, X_2, \dots, X_n de k variables y n observaciones se expresan mediante la ecuación 9

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n} = \frac{1}{n} X'j \quad (9)$$

Análisis discriminante (AD), las observaciones individuales del Vitamina C, Acidez Titulable, pH, sólidos solubles y Humedad en función de k variables de respuesta. Las variables de respuesta se agruparon mediante la búsqueda de combinación lineal e identificaron la contribución relativa de cada variable de respuesta. La combinación lineal de las variables de respuesta se presenta en la ecuación 10 denominada función discriminante canónica (FD) para separar en grupos de k variables de respuesta con 3 repeticiones.

$$Z = a_1Y_1 + a_2Y_2 + \dots + a_kY_k \quad (10)$$

Dónde: a representa coeficiente asociado con cada variable, Y variables medidas de cada grupo (Vitamina C, Acidez Titulable, pH, Sólidos solubles y Humedad)

CAPÍTULO IV: RESULTADOS DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

4.1 Características fisicoquímicas de la carambola

El presente capítulo describe los resultados obtenidos en el proyecto de investigación.

Las características fisicoquímicas obtenidas del fruto fresco de la carambola se muestran a continuación.

Tabla 6: Resultado de valores fisicoquímico de la carambola en estado natural.

Características fisicoquímicas	Valor
Sólidos solubles (°Brix)	6,23
pH	2,43
Acidez Titulable (exp. en % Ác. Cítrico)	0,67
Vitamina C (mg/100 g)	36,36
Humedad (%)	92,3%

La Tabla 6 muestra los valores experimentales de las características fisicoquímicas de las muestras de carambola, presentado un índice de madurez de 9.3, el cual difiere significativamente por lo reportado por Solis, (2010), quien reportó un I.M. de 40.38, °Brix de 10.20 y Acidez de 0.23; de igual manera estos valores difieren por lo reportado por Hernández et al., (2011) , quién reportó valores de °Brix = 3,6; pH= 3,85 y Acidez = 0,41, el contenido de los sólidos

solubles de 6.23 y acidez de 2.43. Las variaciones entre los valores iniciales reportados en la presente investigación y lo reportado por Hernandez et al., (2011) y Solis (2010) responden a la influencia que ejercen las labores culturales empleadas en el cultivo de este fruto.

Asimismo, se cuantificó el contenido de la vitamina C, siendo este de 36.36 mg/100g de jugo, calculado experimentalmente, superando levemente y los valores reportados por Mendoza-corvis y Hernández., (2015) (30,31 a 30,09 mg/100g) y coincidiendo con Orlando., (2002) y Hernández., (2015) (35 mg/100g).

4.2 Influencia de temperatura del proceso y el tiempo de degradación de vitamina C en rodajas de carambola (*Averrhoa carambola L.*).

Tabla 7: Contenido de vitamina C en las rodajas de carambola según temperatura de proceso.

Tiempo (horas)	Vitamina C (gr. Àcido ascòrbido/100 g.)		
	40°C	50°C	60°C
0	36,36	36,36	36,36
1	33,61	31,02	30,31
2	31,19	27,51	23,66
3	27,61	23,98	19,12
4	26,09	20,64	16,23

En tabla se muestran los valores de vitamina C promedios, resultado de las 3 repeticiones realizadas por cada hora (tiempo) a las distintas temperaturas y se

observa las diferentes tendencias en la degradación de la vitamina C aplicando las diferentes temperaturas de procesos (40, 50 y 60°C) y tiempos sometidos.

En la figura 6 se puede comprobar visualmente que la degradación de la vitamina C en las rodajas de carambola son influenciadas por las temperaturas y tiempos de proceso.

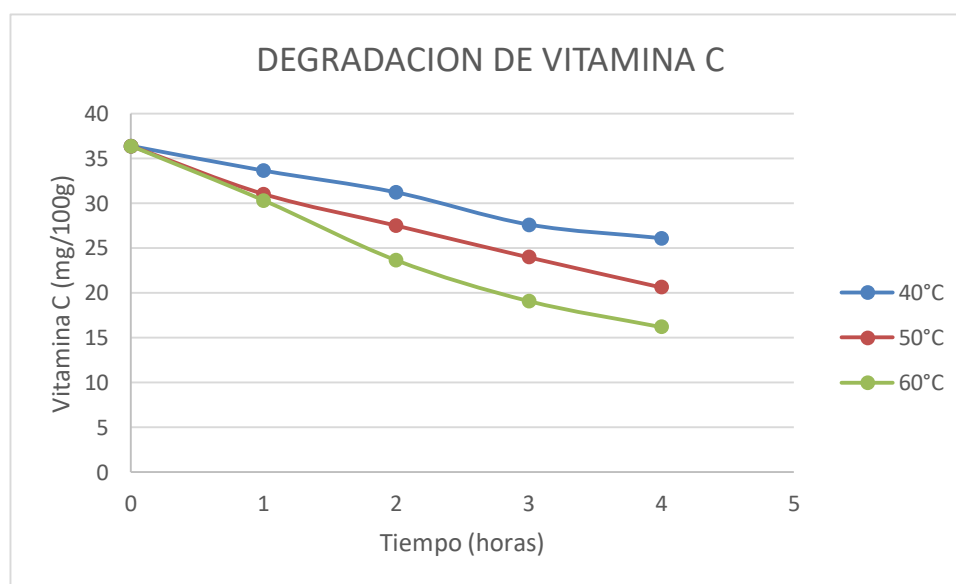


Figura 6: Degradación de la vitamina C a diferentes temperaturas de deshidratado.

El contenido de la vitamina C disminuyó considerablemente con el acrecentamiento de la temperatura, y a medida que aumentaba el tiempo empleado. A 60°C la concentración de vitamina C disminuyó de 36.36 mg/100 g a 16.23mg/100g al cabo de 4 horas, lo que representó una pérdida de 55.36%; mientras que las muestras sometidas a 50°C el porcentaje de pérdida de vitamina C es del 43.23% y para 40°C el porcentaje de pérdidas fue de 28.25%.

4.3 Determinación del orden de reacción en la degradación térmica del ácido ascórbico en rodajas de carambola.

En las siguientes figuras se muestran las variaciones de la vitamina C en rodajas de carambola en función del tiempo de proceso a distintas temperaturas con sus ecuaciones lineales y parámetros según el orden de la reacción.

Donde:

[A] = Concentración de Ácido Ascórbico

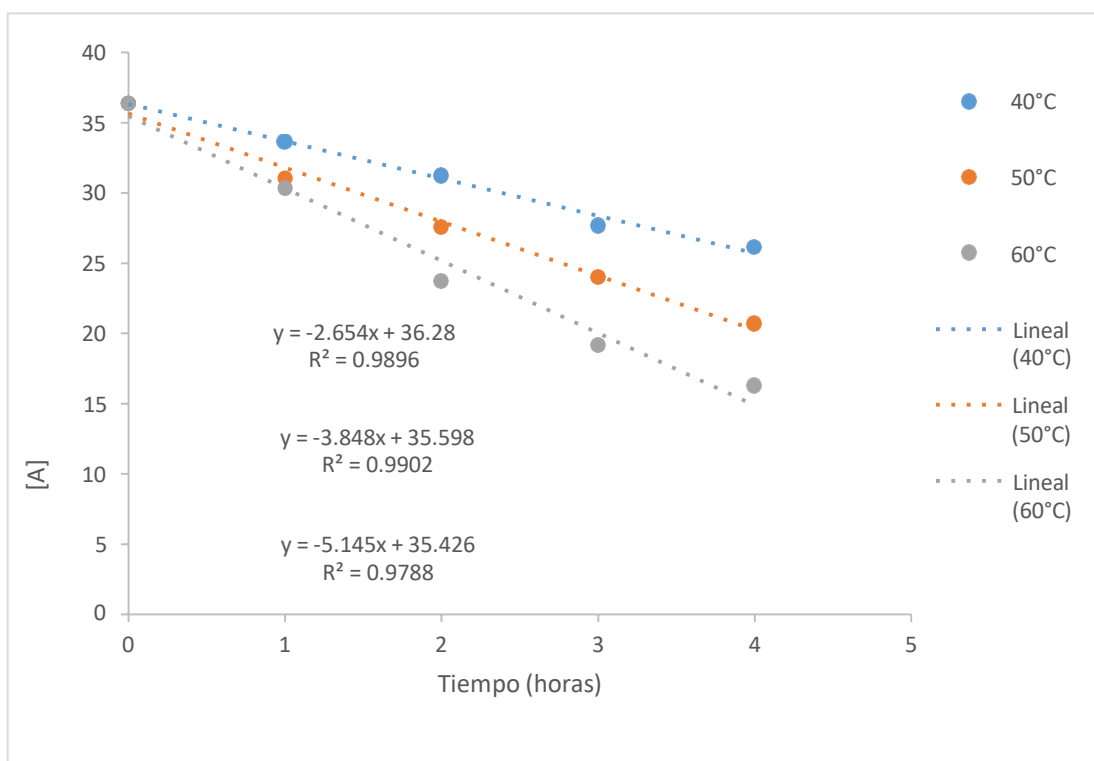


Figura 7: Cinética de degradación de vitamina C de orden cero.

En la figura 7 se muestra la cinética de la vitamina C a diferentes temperaturas, del cual se puede afirmar que el incremento de la variable temperatura y su exposición prolongada conlleva a una reducción del contenido de vitamina C. En esta figura se identifica que la ecuación que mejor describe la cinética del orden cero, es la representada por la temperatura de 50°C.

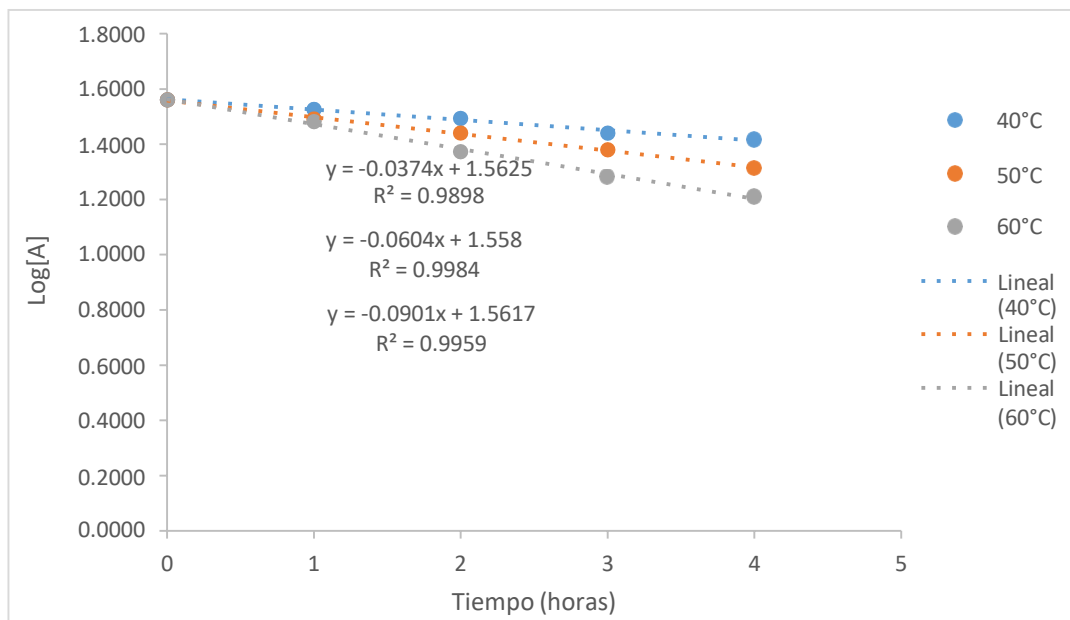


Figura 8: Cinética de degradación de vitamina C de orden uno.

En la Figura 8 correspondiente a la ecuación de cinética de orden uno, se evidencia que la ecuación que describe mejor la reacción es la expresada por la temperatura de 50°C, con un coeficiente de correlación cercano a uno.

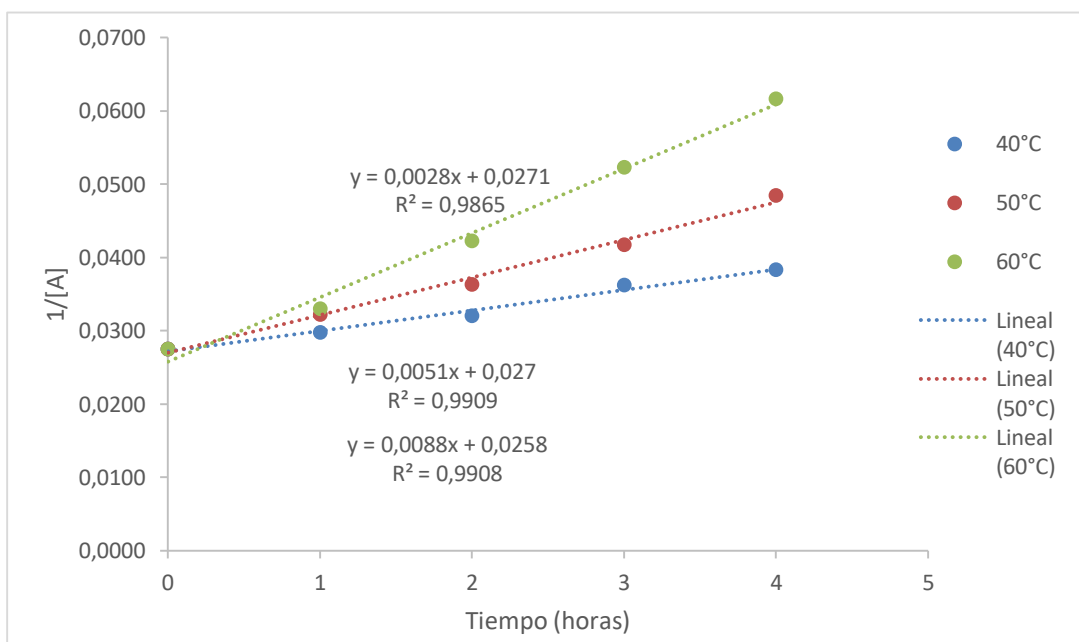


Figura 9: Cinética de degradación de vitamina C de segundo orden.

En la Figura 9 se pudo identificar a través de los valores del coeficiente de correlación, que la ecuación que representa mejor la cinética de degradación de la vitamina C es la correspondiente a la temperatura de trabajo de 50°C.

Al comparar los valores de R² de las tres temperaturas de trabajo y la Tabla 8, se puede determinar que la degradación de la vitamina C en las rodajas de carambola, siguen una cinética de primer orden conforme a las temperaturas de trabajo empleadas para este experimento; esto, debido a que los valores del coeficiente de correlación más cercanos a uno fueron los generados por esta ecuación.

Esto concuerda con estudios realizados sobre cinética de degradación térmica en vitamina C como lo reportado por Mendoza et al., (2015); Ordóñez-Santos et al., (2013) y Yamashita et al., (2003); sin embargo, los valores de R² correspondientes a la ecuación de segundo orden también se encuentran cercanos a 1, por lo que esta ecuación también podría ser apropiada para describir la reacción de la degradación por efecto de las altas temperaturas, en las investigaciones antes mencionadas mencionan que a mayor temperatura también incrementa el coeficiente de correlación, es decir, pueden llegar a ajustarse al segundo orden.

Tabla 8: Orden de reacción y coeficiente de degradación térmica de vitamina C en rodajas de carambola.

Temperatura (°C)	Orden Cero		Primer orden		Segundo orden	
	K ₀	R ²	K ₁	R ²	K ₂	R ²
40	2,654	0,9896	0,0374	0,9898	0,0028	0,9865
50	3,848	0,9902	0,0604	0,9984	0,0051	0,9909
60	5,145	0,9788	0,0901	0,9959	0,0088	0,9908

La Tabla 8 nos muestra que la constante de velocidad cinética (K) aumenta con el incremento de la temperatura, lo que confirma que la velocidad de degradación de la vitamina C aumenta al elevar la temperatura de proceso. Este incremento

también es reportado por Ordóñez y Portilla, (2013) en guayaba y Matos y Chuquilín., (2010) en néctar de carambola.

4.4 Cálculo de Energía de Activación para la degradación térmica de vitamina C en rodajas de carambola.

Para obtener resultados, el efecto de la temperatura y tiempo de proceso de deshidratación sobre la degradación térmica de la vitamina C en las rodajas de carambola, se ajustan las constantes de velocidad obtenidas en los modelos cinéticos a la ecuación de Arrhenius.

Para calcular la Energía de Activación, se realizó el análisis de regresión lineal a los valores del logaritmo k, y la inversa de las temperaturas absolutas de proceso, los que se muestran en la siguiente tabla y figura.

Tabla 9: Valores de la energía de activación en la degradación térmica de vitamina C en rodajas de carambola.

T(°C)	1/T (°K)	K (horas-1)	Log K	Pendiente	Ea (cal/mol)	Ea (KJ/mol)
40	0.0032	0.08606	-1.06518			
50	0.0031	0.1390	-0.8569	-1992.3	9116.88	38,500
60	0.0030	0.2074	-0.6831			

Analizando los resultados en la Tabla 8 los valores cinéticos se ajustan a un modelo cinético de primer orden; esto debido a que el coeficiente de correlación es igual $R^2= 0,9988$, obteniéndose valores de energía de activación de 9,12 Kcal/mol y 38,5 KJ/mol para la degradación de la vitamina C en rodajas de carambola, estos resultados concuerdan con lo reportado por otros autores.

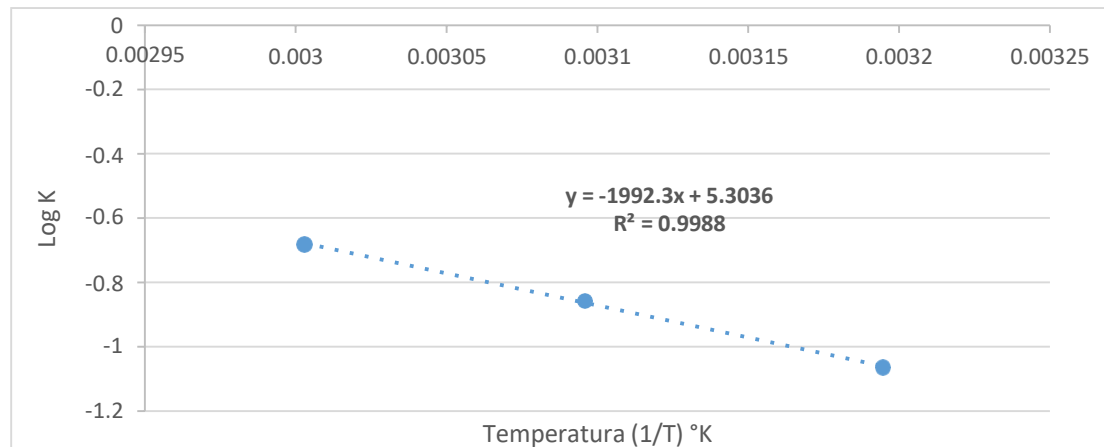


Figura 10: Relación logarítmica de la constante K, y la inversa de la temperatura absoluta en rodajas de carambola.

Las diferencias de los parámetros cinéticos obtenidos en comparación a otros autores pueden deberse a que las temperaturas de operación distinta, geometría de la muestra, matriz biológica, pH y por el contenido de humedad presente en las muestras de estudio. Bree et al., (2012)

4.5 Efecto de la temperatura de proceso en las características fisicoquímicas de la carambola.

A continuación, se muestran los efectos de las temperaturas de proceso (40,50 y 60°C) conforme el tiempo de exposición sobre las características fisicoquímicas en la carambola.

Tabla 10: Efecto de la temperatura de proceso sobre °Brix.

Tiempo (horas)	°Brix		
	40°C	50°C	60°C
0	6,23	6,23	6,23
1	7,13	7,00	6,93
2	8,33	7,27	10,23
3	8,03	7,90	12,60
4	8,70	9,93	16,07

En la tabla se muestra que el contenido de °Brix aumentó considerablemente conforme aumenta la temperatura de proceso; para una temperatura de deshidratado 40°C el incremento fue de 6.23 a 8.70°Brix, para 50°C un incremento de 6.23 a 9.93°Brix y para 60°C un incremento de 6.23 a 16,07°Brix, este resultado puede deberse a que el agua contenida en la matriz alimentaria ha sido retirada y concentrando los sólidos solubles contenidos en ella. Los resultados obtenidos difieren por lo reportado por Hernández et al.; (2011), quién reportó una disminución de los sólidos solubles en el fruto seco de carambola deshidratado por convección forzada.

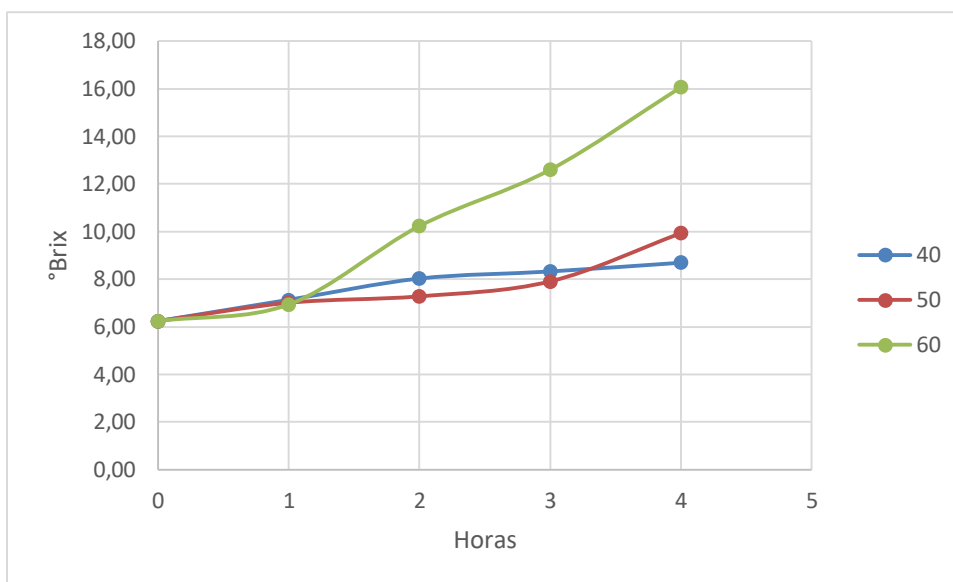


Figura 11: Efecto de la temperatura de proceso sobre °Brix.

La Figura 11 muestra una tendencia línea ascendente, el cual refleja el comportamiento de los °Brix, en función del tiempo y las temperaturas de proceso (40°C, 50°C y 60°C).; lo cual coincide con lo reportado por Hernández et al.; (2011) y lo obtenido por Carranza-Concha et al., (2011) citado por Hernández et al.; (2011) en uvas pasas; esta incremento de los °Brix también puede atribuirse a la liberación de sacarosa unida a la fruta de la carambola y que fueron ablandadas por efecto del calor sometido.

Tabla 11: Efecto de la temperatura de proceso sobre la Acidez titulable (ATT).

Tiempo (horas)	ATT (g. ácido cítrico/100 g.)		
	40°C	50°C	60°C
0	0,67	0,67	0,67
1	0,75	0,79	0,68
2	0,85	0,96	0,70
3	0,84	1,21	1,24
4	0,95	1,28	1,40

El contenido de Acidez total titulable para las muestras sometidas a las tres temperaturas de proceso, aumentan; lo cual coincide con lo reportado por Hernández et al.; (2011) y lo obtenido por Carranza-Concha et al., (2011) citado por Hernández et al.; (2011) en uvas pasas. El incremento de la acidez se debe a la formación de ácidos por la interconversión de los azúcares y otras reacciones químicas, las cuales aceleran con el aumento de la temperatura de acuerdo a Rao y Roy; (1980).

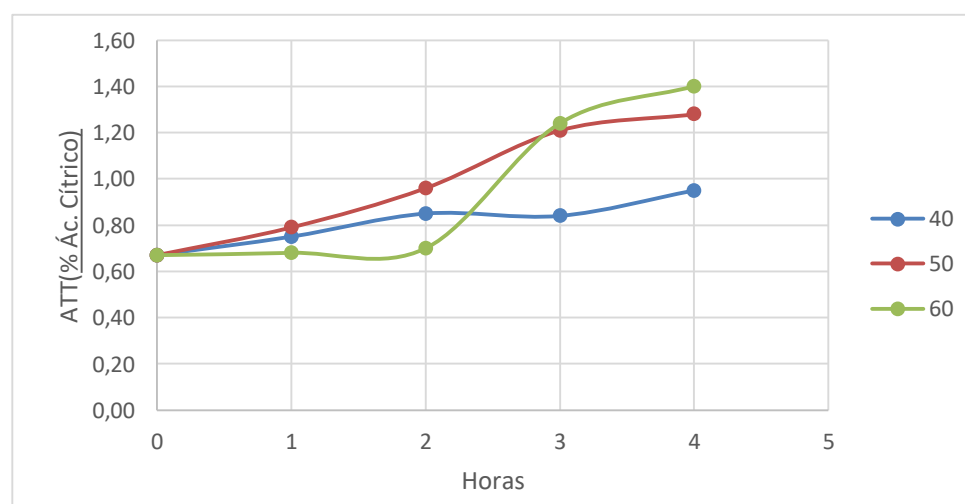


Figura 12: Efectos de la temperatura de proceso sobre la Acidez titulable

En la figura 12 se aprecia el comportamiento con una tendencia lineal ascendente de la Acidez total titulable en función del tiempo y las temperaturas de proceso (40°C, 50°C y 60°C). El contenido de Acidez total titulable para las muestras sometidas a las tres temperaturas de proceso, aumentan; lo cual coincide con lo reportado por Hernández et al.; (2011) y lo obtenido por Carranza-Concha et al., (2011) citado por Hernández et al.; (2011) en uvas pasas.

Tabla 12: Efecto de la temperatura de proceso sobre el pH

Tiempo (horas)	pH		
	40°C	50°C	60°C
0	2,43	2,43	2,43
1	2,54	2,38	2,71
2	2,66	2,38	2,79
3	2,65	2,51	2,65
4	2,69	2,73	2,76

Con respecto al pH se observa mayor variación de pH por efecto de deshidratación, probablemente por efecto de reducción de la humedad y concentración de ácidos orgánicos (Breidt, 2023), por otro lado, las muestras sometidas a diferentes temperaturas, su valor aumenta mínimamente, contrastando lo reportado por Hernández et al.; (2011), quien al deshidratar rodajas de carambola con un espesor de 0.5 y 1cm el contenido de pH disminuyó.

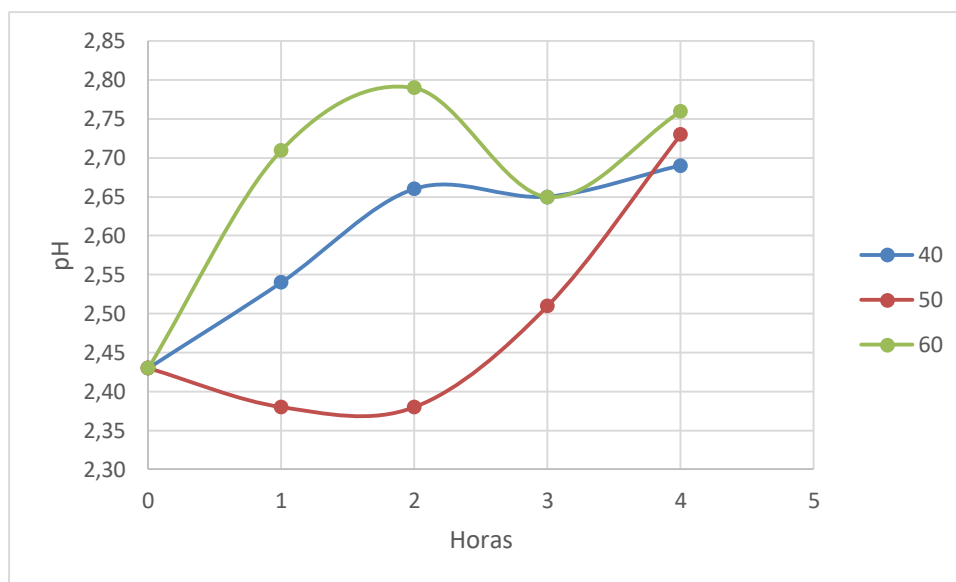


Figura 13: Efectos de la temperatura de proceso sobre el pH

Otra causa para el aumento del pH en el experimento desarrollado bajo las tres temperaturas de trabajo, puede atribuirse a la reducción del ácido cítrico presente en la matriz de la fruta de la carambola conforme lo reportado por Yamashita et al., (2003).

4.6 Determinación de la pérdida de humedad en rodajas de carambola a diferentes temperaturas.

En la siguiente tabla y figura se muestran la pérdida de humedad durante cuatro horas a diferentes temperaturas de proceso (40°C, 50°C y 60°C).

Tabla 13: Pérdida de peso (humedad) de la muestra de carambola.

Tiempo (horas)	Peso de la muestra (gr.)		
	40°C	50°C	60°C
0	10,03	10,06	10,08
1	9,18	9,26	8,96
2	8,49	8,45	7,76
3	8,08	7,69	6,63
4	7,72	6,85	5,31

De la tabla se observa que, para todas las temperaturas de proceso, el contenido de humedad se reduce rápidamente durante las 4 horas de proceso, esto debido a que el contenido de agua presente es no ligada (Santos et al.; 2010); asimismo, se observa que el tiempo de deshidratado depende de la temperatura, siendo menor para mayores temperaturas de procesos.

El porcentaje de humedad experimental hallado en la carambola es de 92.3%, el cual supera lo reportado por Solis Malaga: (2010) (88.77%), pero se asemeja a lo reportado por Tello et al., (2002) el cual reporta 90% de humedad.

El porcentaje de humedad final de las muestras de carambola deshidratadas después de 4 horas sometidas a 40°C es 69.31%, para muestras sometidas a 50°C es 60.41% y para las muestras sometidas a 60°C es de 44.99%.

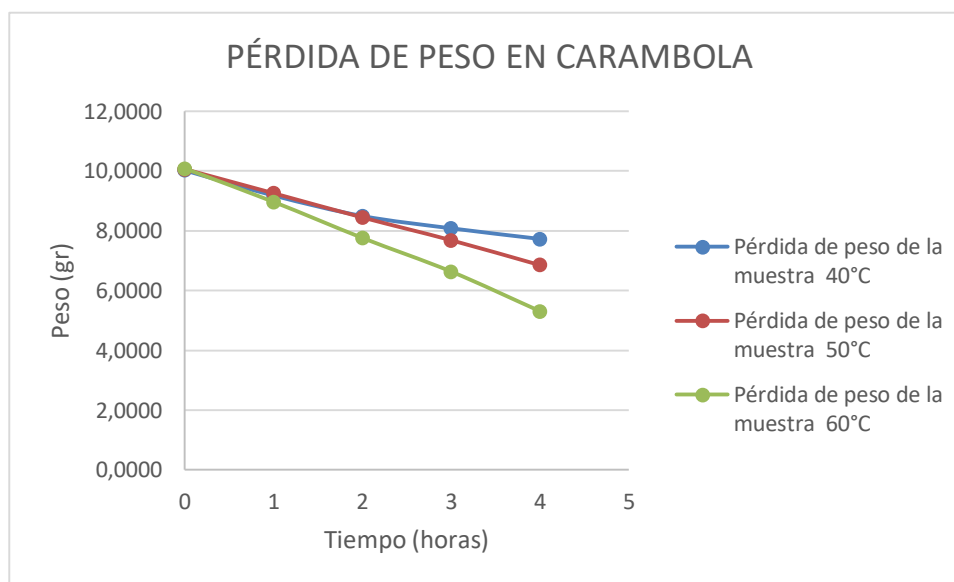


Figura 14: Pérdida de peso durante 4 horas a temperatura de 40°C, 50 °C y 60°C.

En la figura se evidencia gráficamente la disminución del peso por evaporación del contenido de agua a las diferentes temperaturas de proceso (40°C, 50°C y 60°C). Para las muestras sometidas a una temperatura de proceso de 40°C la pérdida de peso en humedad fue de 2.33 g. (23.23%), para las muestras sometidas a 50°C una pérdida de peso de 3.25 g. (32.32%) y para las muestras sometidas a 60°C una pérdida de peso de 4.86 g. (48.20%).

4.7 Análisis estadístico

Influencia de la Temperatura y el tiempo de proceso sobre las características fisicoquímicas en las rodajas de carambola.

Con respecto al análisis estadístico MANOVA mostrado en la Tablas 14, 15, 16 y 17, se aprecia que existen diferencias significativas ($p < 0.05$), por lo tanto, se rechaza la Hipótesis nula que afirmaba que no había diferencia entre los grupos; mientras que en la H1 señala que existen diferencia entre los grupos por lo que las propiedades físico químicas sí son influenciadas por la temperatura y tiempo, así como su interacción.

Tabla 14. MANOVA, Prueba Estadística "Wilks"

	Df	Wilks	approx F	num Df	den Df	Pr(>F)
Temperatura	2	6.87E-07	482.21	10	4	1.028e-05 ***
Residuals	6					

Tabla 15. MANOVA, Prueba Estadística "Hotelling-Lawley"

	Df	Hotelling-Lawley	approx F	num Df	den Df	Pr(>F)
Temperatura	2	5.66E+04	5658.9	10	2	0.0001767 ***
Residuals	6					

Tabla 16. MANOVA, Prueba Estadística "Pillai"

	Df	Pillai	approx F	num Df	den Df	Pr(>F)
Temperatura	2	1.96E+00	30.267	10	6	0.0002424 ***
Residuals	6					

Tabla 17. MANOVA, Prueba Estadística "Roy"

	Df	Roy	approx F	num Df	den Df	Pr(>F)
Temperatura	2	5.66E+04	33939	5	3	2.524e-07 ***
Residuals	6					

De igual manera se desarrolló un análisis discriminante mediante el cual se determinó lo siguiente:

Que existen dos funciones discriminantes que explican la separación de los grupos.

$$Z1= 200.94 \text{ pH} + 1.72 \text{ Brix} - 8.91 \text{ VitC} - 16.26 \text{ H}^\circ - 84.46 \text{ ATT}$$

$$Z2= 18.57 \text{ pH} + 0.64 \text{ VitC} - 0.16 \text{ Brix} - 1.13 \text{ H}^\circ - 49.95 \text{ ATT}$$

En ambas funciones discriminantes el tiempo y la temperatura han influido más en el pH que en el resto de variables.

CONCLUSIONES

- El modelo cinético de primer orden se ajusta satisfactoriamente a los datos obtenidos experimentalmente en la medición del deterioro de la vitamina C en la carambola a 40°C, 50°C y 60°C; esto en función a que los valores del coeficiente de regresión lineal (R^2) fueron superiores al 98% según se aprecia en la tabla 8. Las velocidades de degradación térmica para la vitamina C en rodajas de carambola (*Averrhoa carambola L.*) son 0.086 h⁻¹, 0.139 h⁻¹ y 0.003 h⁻¹ respectivamente.
- La energía de activación en la vitamina C en el rango de temperaturas de 40°C a 60°C es de 38.5 kJ/mol.
- El contenido final de los parámetros físico químicos evaluados al cabo de 4 horas y de temperaturas de procesos son los siguientes: 40°C = Vit C: 26.09 mg/100g, Brix: 8.70, Acidez total titulable: 0.95 g. ácido cítrico/100 g y pH: 2.69; 50°C: Vit C: 20.64 mg/100g, Brix: 9.93, Acidez total titulable: 1.28 g. ácido cítrico/100 g y pH: 2.73; y para 60°C: Vit C: 16.23 mg/100g, Brix: 16.07, Acidez total titulable: 1.40 g. ácido cítrico/100 g y pH: 2.76.
- El deshidratado del fruto de la carambola sugiere un predominante perfil de velocidad decreciente,
- La temperatura de proceso afectó significativamente el contenido de humedad inicial (92.3%) en el fruto de la carambola, siendo la temperatura de 60°C la que tuvo mayor efecto al cabo de 4 horas con un valor final de humedad del 44.99%.

SUGERENCIAS

- Se recomienda realizar adicionalmente, estudios experimentales en cuanto a la degradación térmica de vitamina C en rodajas de carambola saturadas con sacarosa.
- Se recomienda evaluar experimentalmente la degradación térmica de vitamina C en pulpa de carambola y estimar su vida útil.
- Evaluar experimentalmente la cinética microbiana en rodajas y pulpa de carambola para determinar su calidad microbiológica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGHAJANZADEH, S., KASHANINEJAD, M. y ZIAIIFAR, A.M., 2016. Effect of infrared heating on degradation kinetics of key lime juice physicochemical properties. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* [en línea], vol. 38, pp. 139–148. ISSN 14668564. DOI 10.1016/j.ifset.2016.09.027. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifset.2016.09.027>.
- AGUILERA, J. y STANLEY, D., 1999. *Microestructural and principles of food processing and engineering*. 2nd. Maryland: Aspen Publisher, Inc.
- BREE, V., BEATENS, J., SAMAPUNDO, S., DEVLIEGHERE, F., LALEMAN, R., VANDEKINDEREN, I., NOSEDA, B., XHAFERI, R., DE BAET, B. y DE NEULENAER, B., 2012. Modelling the degradation kinetics of vitamin C in fruit juice in relation to the initial headspace oxygen concentration. *Food Chemistry*, vol. 134, pp. 207–214.
- DA SILVA SANTOS, P.H., 2008. *Estudo da cinética de degradação do ácido ascórbico na secagem de abacaxi em atmosfera modificada*. S.I.: Universidade Estadual de Campinas.
- DATILES, M.J., 2015. A verroha carambola (carambola). [en línea]. [Consulta: 20 marzo 2020]. Disponible en: <https://www.cabi.org/isc/datasheet/8082>.
- ECURED, 2020. Cinética química. https://www.ecured.cu/Cin%C3%A9tica_qu%C3%ADmica [en línea]. Disponible en: https://www.ecured.cu/Cinética_química.
- GÓNGORA, M. del C., 2012. *SECADO OSMO-CONVECTIVO CON AIRE CALIENTE DE RODAJAS DE CARAMBOLO (Averroha carambola l.)*. S.I.: Universidad del Valle.
- HERNANDEZ, C., OSSA, Z., RAMIRÉZ, L. y HERRERA, W., 2011. Influencia

del espesor y la temperatura en el secado de carambola (*Averrhoa carambola L.*), vol. 4, no. 2.

HERNÁNDEZ SAMPIERI, R., FERÁNDEZ COLLADO, C. y BAPTIZTA LUCIO, P., 2014. *Metodología de la investigación*. Sexta edic. México: McGRAW- HILL. ISBN 9701057538.

JUN, S., KRISHNAMURTHY, K., IRUDAYARAJ, J. y DEMIRCI, A., 2011. Fundamentals and Theory of Infrared Radiation. *Infrared heating for food and agricultural processing*. Boca Ratón. CRC Press, pp. 1–18.

MATOS-CHAMORRO, A. y CHUQUILÍN-CHUMBE, E., 2010. Estudio de la Influencia de la Concentración en la Retención de Vitamina C en Jugo Fresco y Concentrado de Carambola (*Averrhoa carambola L.*). *Revista de Investigación en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, vol. 1(1), pp. 36–42.

MATOS, A. y CHUQUILÍN, E.F., 2010. Estudio de la Influencia de la Concentración en la Retención de Vitamina C en Jugo Fresco y Concentrado de Carambola (*Averrhoa carambola L.*). *Investigación en Ciencia y Tecnología de Alimentos* [en línea], vol. 1, no. 2218–3310, pp. 36–42. ISSN 2218-3310. Disponible en: <http://investigacion.upeu.edu.pe/images/Journal/RVCITAL01/Chuquilin-Eddy.pdf>.

MENDOZA-CORVIS, F.A. y HERNÁNDEZ, E.J., 2015. Efecto del Escaldado sobre el Color y Cinética de Degradación Térmica de la Vitamina C de la Pulpa de Mango de Hilacha (*Mangífera indica* var *magdalena river*) Effect of Blanching on the Color and Thermal Degradation Kinetics of Vitamin C of Mango of Hila. , vol. 26, pp. 9–16. DOI 10.4067/S0718-07642015000300003.

MENDOZA, S. Y QUIÑONES, R., 2005. *Evaluación del proceso de*

deshidratación del camucamu (Myrciariadubia H. B. K. Mc Vaugle) mediante secador de lecho fluidizado y obtención de los parámetros cinéticos de degradación térmica del ácido ascórbico. S.I.: Universidad Nacional del Centro del Perú.

MUTHU, N., LEE, S.Y., PHUA, K.K. y BHOORE, S.J., 2016. Nutritional, Medicinal and Toxicological Attributes of Star-Fruits (*Averrhoa carambola L.*): A Review. *Bioinformation*, vol. 12, no. 12, pp. 420–424.

NARAIN, N., BORA, H., HOLSCHUH, J. y VASCONCELOS, M., 2001. Physical and chemical composition of carambola fruit (*Averrhoa carambola L.*) at three stages of maturity. *Cienc. Technol. Aliment.*, vol. 3(3), pp. 144–148.

NAVARRO, B., 2011. *Análisis bromatológico del carambolo (Averrhoacarambola L.) y determinación de su capacidad antioxidante*. S.I.: Universidad Veracruzana. México D.F.

NERDY, N., 2018. Determination of Vitamin C in Various Colours of Bell Pepper (*Capsicum annum L.*) by Titration Method. *Penelitian Kimia*, vol. 14, no. 1, pp. 164–177. DOI 10.20961/alchemy.14.1.15738.164-177.

OEAI, 2019. Producción de BREAD, F., 2023. BufferCapacity3 an interactive GUI program for modelling food ingredient buffering and pH. *SoftwareX* [en línea], vol. 22, pp. 101351. ISSN 23527110. DOI 10.1016/j.softx.2023.101351. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.softx.2023.101351>.

KEMPF-LEONARD, K., 2005. *Encyclopedia of Social Measurement Volume*. Chicago: Elsevier.

MESHARAM, V., CHOUDHARY, C., KALE, A., RAJPUT, J., MESHARAM, V. y DHUMANE, A., 2023. Dry fruit image dataset for machine learning applications. *Data in Brief* [en línea], vol. 49, pp. 109325. ISSN 2352-3409. DOI 10.1016/j.dib.2023.109325. Disponible en:

<https://doi.org/10.1016/j.dib.2023.109325>.

- MISHRA, P. y WOLTERING, E., 2023. Semi-supervised robust models for predicting dry matter in mango fruit with near-infrared spectroscopy. *Postharvest Biology and Technology* [en línea], vol. 200, no. March, pp. 112335. ISSN 09255214. DOI 10.1016/j.postharvbio.2023.112335. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2023.112335>.
- NISHA, S., SHIVAMALLU, A.B., PRASHANT, A., SHASHIKUMAR, P., GANGANNA, A. y DAS, D., 2023. Journal of Oral Biology and Craniofacial Research Effect of non surgical periodontal therapy and vitamin C supplementation on total antioxidant capacity in patients with chronic generalised periodontitis – A randomised controlled trial. *Journal of Oral Biology and Craniofacial Research* [en línea], vol. 13, no. 4, pp. 511-516. ISSN 2212-4268. DOI 10.1016/j.jobcr.2023.05.003. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jobcr.2023.05.003>.
- SAKARE, P., PRASAD, N., THOMBARE, N., SINGH, R. y SHARMA, S.C., 2020. Infrared Drying of Food Materials: Recent Advances. *Food Engineering Reviews*, vol. 12, no. 3, pp. 381-398. ISSN 18667929. DOI 10.1007/s12393-020-09237-w.
- SKJÖLDEBRAND, C. y ANDERSSON, C., 2016. A Comparison of Infrared Bread Baking and Conventional Baking. *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy*, vol. 24, no. 2, pp. 91-101. ISSN 0832-7823. DOI 10.1080/08327823.1989.11688080.
- XU, M., TIAN, G., ZHAO, C., AHMAD, A., ZHANG, H., BI, J., XIAO, H. y ZHENG, J., 2017. Infrared Drying as a Quick Preparation Method for Dried Tangerine Peel. *International Journal of Analytical Chemistry*, vol. 2017. ISSN 16878779. DOI 10.1155/2017/6254793.
- Principales Cultivos año 2019. *Dirección Regional de Agricultura de Madre de Dios* [en línea]. Disponible en: <https://www.dramdd.gob.pe/wp-content/uploads/delightful-downloads/2020/02/PRODUCCIÓN-DE-LOS->

PRINCIPALES-CULTIVOS- t.-AÑO-2019.pdf.

OEAI, 2020. Producción de Principales Cultivos año 2020. *Dirección Regional de Agricultura de Madre de Dios* [en línea].

Disponible en:<https://www.dramdd.gob.pe/wp-content/uploads/delightful-downloads/2021/01/PRODUCCIÓN-DE-LOS-PRINCIPALES-CULTIVOS-t.-AÑO-2020.pdf>.

ORDÓÑEZ-SANTOS, L.E., PORTILLA, M.A.O. y RODRÍGUEZ, D.X.R., 2013.

Cinética de degradación térmica de vitamina C en frutos de guayaba (*Psidium guajava* L.). *Revista Lasallista de Investigación*, vol. 10, no. 2, pp.44–51. ISSN 17944449.

ORDÓÑEZ, S. y PORTILLA, M., 2013. Cinética de degradación térmica de vitamina C en frutos de guayaba (*Psidium guajava* L.). *Revista Lasallista de Investigación*, vol. 10, pp. 44–51.

PAUL SING, R. y HELDMAN, D.R., 2009. *Introduction to Food Engineering*. Fourth Edi. S.I.: Academic Press. ISBN 9788578110796.

PAWAR, S.B. y PRATAPE, V.M., 2017. Fundamentals of Infrared Heating and Its Application in Drying of Food Materials: A Reviw. *Journal of Food Process Engineering*, vol. 40, no. 1, pp. 1–15.

RIEGO, M. de D.A. y, 2020. Perfil Productivo Regional. [en línea]. Disponible en:

<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiOWU5NDRkYzUtNzRjZi00NzM5LWEzMDItYzExZjg4Njg2ZWQ0liwidCI6IjdmMDg0NjI3LTdmNDAtNDg3OS04OTE3LTk0Yjg2ZmQzNWYzZiJ9>.

SAKAI, N. y HANZAWA, T., 1994. Applications and advances in far-infrared heating in Japan. *Trends in Food Science and Technology*, vol. 51, pp. 357–362.

- SANTOS, C.T., BONOMO, R.F., CHAVES, M.A., DA COSTA ILHÉU FONTAN, R. y BONOMO, P., 2010. Cinética e modelagem da secagem de carambola (*Averrhoa carambola* L.) em secador de bandeja. *Acta Scientiarum - Technology*, vol. 32, no. 3, pp. 309–313. ISSN 18062563. DOI 10.4025/actascitechnol.v32i3.6048.
- SILVERIRA, M., 2005. Cinética da degradação do ácido ascórbico em polpas de frutas congeladas. ,
- SMITH, P.G., 2011. *Introudction to Food Process Engineering*. Second Edi. New York: SpringerScience+Business Media. ISBN 9781441976611.
- SOLIS MALAGA, C.L.S., 2010. “*MODELAMIENTO MATEMÁTICO DE LA TRANSFERENCIA DE SACAROSA EN LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DEL FRUTO DE LA CARAMBOLA (Averrhoa carambola L.)*” [en línea]. S.I.: Unversidad Nacional Amazónica de Madre de Dios. Disponible en: <http://190.116.37.5/bitstream/handle/UNAMAD/59/004-2-1-007.pdf?sequence=1&isAllowed=>.
- SONCINI, R., SANTIAGO, M.B., ORLANDI, L., MORAES, G.O.I., PELOSO, A.L.M., DOS SANTOS, M.H., ALVES-DA-SILVA, G., PAFFARO, V.A.,
- BENTO, A.C. y GIUSTI-PAIVA, A., 2011. Hypotensive effect of aqueous extract of *Averrhoa carambola* L. (Oxalidaceae) in rats: An in vivo and in vitro approach. *Journal of Ethnopharmacology*, vol. 133, no. 2, pp. 353–357. ISSN 03788741. DOI 10.1016/j.jep.2010.10.001.
- TELLO, O., GARCIA, R. y VÁSQUEZ, O., 2002. CONSERVACIÓN DE *Averrhoa Carambola* “CARAMBOLA” POR AZÚCAR Y CALOR. *Revista Amazónica de Investigación Alimentaria*, vol. 2, pp. 49–58.
- YAMASHITA, F., BENASSI, M.D.T., TONZAR, A.C., MORIYA, S. y FERNANDES, J.G., 2003. Produtos de acerola: estudo da estabilidade de

vitamina C. *Ciência e Tecnologia de Alimentos* [en línea], vol. 23, no. 1, pp. 92–94. ISSN 0101-2061. DOI 10.1590/S0101-20612003000100019.

Disponível em:

http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-20612003000100019&nrm=iso.

YEASMIN, F., RAHMAN, H., RANA, S. y KHAN, J., 2020. THE OPTIMIZATION OF DRYING PROCESS AND VITAMIN C RETENTION OF CARAMBOLA: AN IMPACT OF STORAGE AND TEMPERATURE. *Journal of Food*

Processing and Preservation, vol. 45, pp. 0–3. DOI 10.1111/jfpp.15037.

BREIDT, F., 2023. *SoftwareX BufferCapacity3* an interactive GUI program for modelling food ingredient buffering and pH. , vol. 22.

NISHA, S., SHIVAMALLU, A.B., PRASHANT, A., SHASHIKUMAR, P., GANGANNA, A. y DAS, D., 2023. *Journal of Oral Biology and Craniofacial Research* Effect of non surgical periodontal therapy and vitamin C supplementation on total antioxidant capacity in patients with chronic generalised periodontitis – A randomised controlled trial. , vol. 13, no. May, pp. 511-516.

ANEXOS

Galería fotográfica



Figura 15. Estufa deshidratadora de 3 bandejas marca IRConfort, Modelo IRCDi3 a 40°C



Figura 16. Estufa deshidratadora de 3 bandejas marca IRConfort, Modelo IRCDi3 a 50°C



Figura 17. Estufa deshidratadora de 3 bandejas marca IRConfort, Modelo IRCDi3 a 60°C



Figura 18. Selección de materia prima según su madurez.



Figura 19 Proceso de análisis de Vitamina C, Acidez Titulable, °Brix, pH en la carambola con infrarrojo lejano.



Figura 20 Proceso de análisis de humedad en la carambola con infrarrojo lejano.

Cuadro 2: Matriz de consistencia.

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Indicadores	Índices
¿En qué medida afecta el secado con infrarrojo lejano la degradación de la vitamina C en rodajas de carambola (<i>Averrhoa carambola L.</i>)?	<p>Objetivo General: Evaluar efecto de la temperatura de secado con infrarrojo lejano en la degradación de vitamina C en rodajas de carambola (<i>Averrhoa carambola L.</i>).</p>	La vitamina C de la carambola (<i>Averrhoa carambola L.</i>), en rodajas se mantienen estables a efectos de temperatura y tiempos de secado por infrarrojo lejano.	<p>Variables independientes:</p> <p>*Tiempo de secado y</p> <p>*Temperatura de secado.</p>	<p>-Horas</p> <p>-°Centígrados</p>	<p>t=0, 1, 2, 3, 4</p> <p>T°= 40°C, 50°C y 60°C</p>
	<p>Objetivos específicos:</p> <p>OE: Evaluar la cinética de la degradación térmica de la vitamina C durante el secado por infrarrojo lejano (FIR) en rodajas de carambola (<i>Averrhoa carambola L.</i>)</p>		<p>Variables dependientes:</p> <p>Características físico químicas</p>	<p>-Vitamina C</p> <p>-Sólidos solubles totales</p> <p>-Acidez total titulable</p> <p>-pH</p>	<p>mg de ácido ascórbico/100g.</p> <p>°Brix</p> <p>g ácido cítrico/100g.</p> <p>0-14</p>
	<p>OE: Evaluar la concentración de vitamina C, pH, acidez total titulable y sólidos solubles (°Brix) bajo tres temperaturas de secado en rodajas de carambola.</p>				
	<p>OE: Determinar la humedad final en las rodajas de carambola (<i>Averrhoa Carambola L.</i>).</p>				

Tabla 18: Contenido de vitamina C en rodajas de carambola según temperatura de proceso (3 repeticiones por cada hora)

Tiempo (horas)	Vitamina C (mg/100g)		
	40°C	50°C	60°C
1	33,84	3,71	30,84
	33,21	31,28	29,63
	33,78	31,07	30,46
2	31,62	26,68	24,20
	31,02	27,68	23,19
	30,92	28,17	23,58
3	28,18	24,39	18,67
	27,71	22,86	18,55
	26,93	24,68	20,15
4	25,48	20,34	16,94
	26,71	20,88	16,24
	26,08	20,71	15,50

Tabla 19: Efecto de la temperatura de proceso sobre los °Brix. (3 Repeticiones por cada hora)

Tiempo (horas)	°Brix		
	40°C	50°C	60°C
1	7,1	7,1	7
	7,3	6,4	6,7
	7	7,5	7,1
2	8,2	5,8	9,5
	7,8	9,2	10,6
	9	6,8	10,6
3	8,7	8,1	13
	7,3	9	12,6
	8,1	6,6	12,2
4	8	7,3	15
	9,2	9,4	16,3
	8,9	13,1	16,9

Tabla 20: Efecto de la temperatura de proceso sobre la Acidez Titulable. (3 Repeticiones por cada hora)

Tiempo (horas)	ATT		
	40°C	50°C	60°C
1	0,73	0,80	0,69
	0,75	0,81	0,67
	0,79	0,75	0,69
2	0,81	0,96	0,66
	0,87	0,96	0,66
	0,86	0,95	0,77
3	0,84	1,22	1,21
	0,82	1,19	1,27
	0,85	1,23	1,25
4	0,94	1,30	1,43
	0,93	1,27	1,42
	0,98	1,26	1,36

Tabla 21: Efecto de la temperatura de proceso sobre el pH. (3 Repeticiones por cada hora)

Tiempo (horas)	pH		
	40°C	50°C	60°C
1	2,39	2,36	2,82
	2,54	2,48	2,72
	2,69	2,29	2,6
2	2,81	2,51	2,92
	2,63	2,35	2,85
	2,55	2,29	2,61
3	2,65	2,55	2,7
	2,58	2,51	2,6
	2,72	2,47	2,65
4	2,63	2,8	2,79
	2,73	2,68	2,76
	2,72	2,71	2,72

Tabla 22: Determinación de humedad de la carambola.

Tiempo (min)	Peso (Placa + muestra)	Peso muestra
0	27,262	14,325
30	26,403	13,466
60	26,175	13,238
90	26,174	13,236
120	26,171	13,233
150	26,169	13,231
180	26,166	13,228
210	26,161	13,223
240	26,160	13,223
270	26,159	13,221
300	26,157	13,220

Tabla 23: Contenido de humedad (%) de la carambola.

Contenido de humedad (%) en la muestra			
Tiempo (horas)	40°C	50°C	60°C
0	92,3	92,3	92,3
1	83,87	84,30	81,24
2	77	76,25	69,28
3	72,88	68,68	58,12
4	69,31	60,41	44,99

Tabla 24. Coeficientes de discriminantes lineales

	LD1	LD2
pH	200.944092	18.5724471
ATT	-84.462178	-49.9486937
VitC	-8.907855	0.6457006
Brix	1.727806	-0.1662698
H	-16.262684	-1.1351841