

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



INFORME FINAL

**“CINÉTICA DE LA DEGRADACIÓN DEL ACIDO
ASCORBICO DURANTE LA DESHIDRATACIÓN DEL
AGUAYMANTO (*Physalis peruviana* L.)”**

AUTOR: BERNARDINO RAMIREZ DURAND

**PERIODO DE EJECUCIÓN: Del 01 de diciembre de 2018 al 30 de noviembre
de 2019**

RESOLUCIÓN DE APROBACIÓN: N° 035-2019-R

CALLAO – 2019

ÍNDICE

CONTENIDO

RESUMEN	5
ABSTRACT	6
INTRODUCCIÓN	7
CAPITULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
1.1. Descripción de la realidad problemática	9
1.2. Formulación del problema	12
1.3. Objetivos	13
1.4. Limitaciones de la investigación	13
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	15
2.1. Antecedentes	15
2.2. Marco	16
2.2.1. Teórico	16
2.2.2. Conceptual	19
2.3. Definición de términos básicos	23
CAPITULO III: HIPÓTESIS Y VARIABLES	29
3.1. Hipótesis	29
3.2. Definición conceptual de variables	29
CAPITULO IV: DISEÑO METODOLÓGICO	31
4.1. Tipo y Diseño de la Investigación	31
4.2. Método de Investigación	31
4.3. Población y muestra	31
4.4. Lugar de estudio y periodo desarrollado	32
4.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de la información	32
4.6. Análisis y procesamiento de datos	35

CAPITULO V: RESULTADOS	36
5.1. Resultados descriptivos	36
5.2. Resultados inferenciales	39
CAPITULO VI: DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	45
6.1. Contratación y demostración de la hipótesis con los resultados. ...	45
6.2. Contrastación de los resultados con otros estudios similares.	45
6.3. Responsabilidad ética	45
CONCLUSIONES	46
RECOMENDACIONES.....	47
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	48
ANEXOS.....	52

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Composición de aguaymanto (<i>Physalis peruviana</i> L.) por cada 100 g de muestra.	17
Tabla 2	Expresión de la ecuación diferencial e integrada de la velocidad de degradación para tres valores de n.	22
Tabla 3	Operacionalización de las variables.	30
Tabla 4	Efecto de la velocidad del aire sobre el contenido de ácido ascórbico en aguaymanto de diámetro (18.1- 20.0 mm) deshidratadas a 70°C.	36
Tabla 5	Ecuaciones de la cinética integradas para los tres valores de n, y adecuadas para su respectiva presentación gráfica.	37
Tabla 6	Contenido de ácido ascórbico durante el proceso de deshidratación de aguaymanto a las temperaturas de 60,70 y 80°C (mg de ácido ascórbico/100 g de muestra).	38
Tabla 7	Cálculos de los parámetros cinéticos para determinar el orden de degradación del ácido ascórbico a la temperatura de 60 °C.	39
Tabla 8	Cálculos de los parámetros cinéticos para determinar el orden de degradación del ácido ascórbico a la temperatura de 60 °C.	40
Tabla 9	Cálculos de los parámetros cinéticos para determinar el orden de degradación del ácido ascórbico a la temperatura de 80 °C.	41
Tabla 10	Efecto de los tratamientos térmicos en la cinética de degradación del ácido ascórbico es de primer orden para las tres temperaturas de 60, 70 y 80 °C.	42
Tabla 11	Valores obtenidos de k experimentales para determinar la energía de activación de la cinética de degradación térmica de ácido ascórbico en el aguaymanto durante el proceso de deshidratación: Ecuación de Arrhenius	43
Tabla 12	Parámetros cinéticos de la degradación de ácido ascórbico durante la deshidratación térmica de aguaymanto.	44
Tabla 13	Parámetros cinéticos obtenidos experimentalmente	46

INDICE DE FIGURAS

Figura 1	Árbol de problemas: causas – efectos.	10
Figura 2	Red de inclusiones de las variables de investigación.	11
Figura 3	Fruto fresco de aguaymanto (<i>Physalis peruviana</i> L.). CYTED (2014).	16
Figura 4	Molécula de Ácido ascórbico.	18
Figura 5	Evolución de la degradación del ácido ascórbico (AA), en aguaymanto durante la deshidratación en función del tiempo, la temperatura (t), tamaño de la fruta (d) y la velocidad de aire (v).	25
Figura 6	Deshidratador experimental que consta de: Consola de encendido y apagado, control de temperatura por medio de una termocupla tipo K, control de velocidad de aire y una cámara con bandeja giratoria para muestras	26
Figura 7	Tablero o consola de control y Ventilador.	27
Figura 8	Cámara de deshidratación.	27
Figura 9	Muestra en proceso.	27
Figura 10	Reacción de degradación por oxidación del ácido ascórbico.	28
Figura 11	Muestras de zumo extraído.	35
Figura 12	Titulación de la muestra con DCFIF.	35
Figura 13	Efecto de la velocidad del aire sobre el contenido de ácido ascórbico en aguaymanto de diámetro (18.1- 20.0 mm) deshidratadas a 70°C.	36
Figura 14	Comportamiento del ácido ascórbico del aguaymanto durante el proceso de deshidratación a temperaturas de 60, 70 y 80 °C.	38
Figura 15	De la gráfica se observa que la degradación de ácido ascórbico durante el tratamiento térmico a 60°C es de primer orden.	39
Figura 16	De la gráfica se observa que la degradación de ácido ascórbico durante el tratamiento térmico a 70°C es de primer orden.	40
Figura 17	De la gráfica se observa que la degradación de ácido ascórbico durante el tratamiento térmico a 80°C es de primer orden.	41
Figura 18	La degradación térmica de ácido ascórbico en frutos de aguaymanto responde a una cinética de degradación de primer orden tal como se evidencia en los coeficientes de regresión mayores de 0.98.	42
Figura 19	Parámetros de la ecuación de Arrhenius para la degradación de ácido ascórbico en frutos de aguaymanto.	43

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue determinar el efecto de la temperatura sobre la cinética de la degradación del ácido ascórbico durante la deshidratación de aguaymanto (*Phisalis peruviana l.*), a tres temperaturas de 60,70 y 80 °C, para esto se asumió la concentración de ácido ascórbico (vitamina C) como índice de calidad nutricional, de tal manera se escoja la temperatura con menor pérdida.

El proceso de deshidratación de aguaymanto se llevó a cabo en un deshidratador experimental de bandeja giratoria con aire caliente, de este proceso se ha determinado que la velocidad del aire no afectó en la pérdida de pérdida de la vitamina C.

La determinación de la concentración de ácido ascórbico durante el proceso de deshidratación se realizó empleando el método 2,6-diclorofenolindofnol. Los parámetros cinéticos se determinaron utilizando el programa Excel.

De acuerdo a las pruebas experimentales realizadas se determinó que la degradación térmica del ácido ascórbico siguió una cinética de primer orden. El efecto de la temperatura sobre la constante cinética (k) fue modelado usando la ecuación de Arrhenius ($R^2 = 1$), donde la energía de activación fue 5281.45 cal/mol y el factor de frecuencia 212.19 h⁻¹.

Palabras claves: Vitamina C, aguaymanto, constante cinética, energía de activación.

ABSTRACT

The objective of this investigation was to determine the effect of temperature on the kinetics of the degradation of ascorbic acid during the dehydration of aguaymanto (*Phisalis peruviana* L.), At three temperatures of 60.70 and 80 ° C, for this the assumption was assumed Ascorbic acid concentration (vitamin C) as an index of nutritional quality, so that the temperature with the lowest loss is chosen.

The dehydration process of aguaymanto was carried out in an experimental rotary tray dehydrator with hot air, from this process it has been determined that the air speed did not affect the loss of loss of vitamin C.

The concentration of ascorbic acid during the dehydration process was determined using the 2,6-dichlorophenolindophnol method. Kinetic parameters were determined using the Excel program.

According to the experimental tests performed, it was determined that thermal degradation of ascorbic acid followed a first order kinetics. The effect of temperature on the kinetic constant (k) was modeled using the Arrhenius equation ($R^2 = 1$), where the activation energy was 5281.45 cal / mol and the frequency factor 212.19 h⁻¹.

Keywords: Vitamin C, aguaymanto, kinetic constant, activation energy.

INTRODUCCIÓN

La vitamina C o ácido ascórbico (AA) es un micronutriente esencial en la alimentación del hombre al estar asociada a la síntesis de diferentes moléculas de importancia en la salud humana, se encuentra ampliamente distribuida en frutas y vegetales.

El ácido ascórbico, es considerado la vitamina hidrosoluble y el más termo sensible, ya que a diferencia de otras vitaminas durante el procesamiento térmico se pierde el 100% de su concentración si no se controla el proceso adecuadamente (Gutiérrez y Hoyos, 2007). Por esta razón su concentración final es considerada como indicador de calidad nutricional durante el procesamiento y almacenamiento de los alimentos (Ordoñez et al, 2013). La determinación cuantitativa de las pérdidas de esta vitamina, requiere un conocimiento preciso de la cinética de degradación, la constante específica de la reacción de degradación en cada producto, es necesario determinarla experimentalmente, para establecer un modelo matemático de la cinética de degradación del ácido ascórbico durante el proceso de deshidratación para establecer la calidad del producto final.

El aguaymanto (*Physalis peruviana* L.) es originario de la región andina del Perú. Es un fruto que se caracteriza por su alto contenido de ácido ascórbico (vitamina C), pese a las características sobresalientes de esta fruta, no se le ha dado la importancia que merece dentro de la alimentación humana, por tanto, una de las mayores inquietudes de la agroindustria peruana debe ofrecer a la población, alternativas de procesamiento que permitan captar el beneficio de la

fruta y que compitan en iguales o mejores condiciones que aquellos productos ya existentes en el mercado nacional e internacional.

Para poder evaluar el efecto de la temperatura en la cinética de degradación del ácido ascórbico durante el proceso de deshidratación de aguaymanto (pasa), se planteó el siguiente objetivo: Evaluar la cinética de degradación térmica del ácido escobio en frutos de *Physalis* durante el proceso de deshidratación en un rango de temperaturas de 70-80°C.

Se espera que este trabajo sirva de guía para la industria alimentaria que se especializa en productos deshidratados, como el aguaymanto; además que aumente el consumo de aguaymanto deshidratado, debido a las bondades nutricionales de esta fruta.

CAPITULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

En la actualidad la producción de frutas constituye una de las alternativas para la inserción de las economías campesinas de los pobladores andinos a los mercados nacionales e internacionales. El aguaymanto es reconocido por su calidad organoléptica y presenta un mercado importante, sin embargo, el estancamiento tecnológico está ocasionando la pérdida de su posicionamiento en el mercado con los consecuentes problemas para los integrantes de la cadena agroalimentaria. Entre las causas identificadas son la estacionalidad de la oferta, la falta de alternativas de consumo y de nuevas formas de presentación que logren captar la atención de un mayor número de consumidores, la corta vida útil del fruto fresco, la inexistencia de sistemas de acondicionamiento y de almacenamiento apropiados para la producción en los que se desarrolla este cultivo.

Además, en estos últimos tiempos modernos las personas y los negocios de países europeos y sobre todo en Estados Unidos y Canadá, han empezado a enfatizar en los productos orgánicos, por ello han construido mercados de solo productos ecológicos u orgánicos, aun no es mercado de muchos, pero día a día van creciendo e incrementando sus consumidores. En nuestro Perú tenemos muchos productos orgánicos como mango, cacao, maca y muchos más, pero uno de los productos con enorme potencial y que ya lo tenemos certificado como orgánico y actualmente lo exportamos en fresco y en deshidratado, sobre todo en esta última presentación es el aguaymanto (*Physalis peruviana L.*).

El diseño de productos novedosos a base de frutas, listos para consumir, permitirá contrarrestar el bajo consumo de frutas fresca y, por lo tanto, indicar a los consumidores los beneficios que estas aportan para su salud. En este sentido y, en definitiva, el propósito de los alimentos deshidratados es proporcionar al consumidor productos de fácil consumo

parecidos sensorialmente al producto fresco, con una vida útil más prolongada y al mismo tiempo, garantizar un adecuado aporte nutritivo.

El desaprovechamiento del valor nutricional de **aguaymanto, fruto de origen de los andes del Perú**, ha ocasionado que se produzcan alimentos sin beneficio nutricional y funcional, esto es, la falta de interés por parte de los industriales peruanos en la conservación del contenido original de ácido ascórbico en la fruta deshidratada, existiendo la carencia de estudios sobre la cinética de degradación de ácido ascórbico en aguaymanto de producción local y, otros factores al respecto se pueden visualizar en la siguiente figura

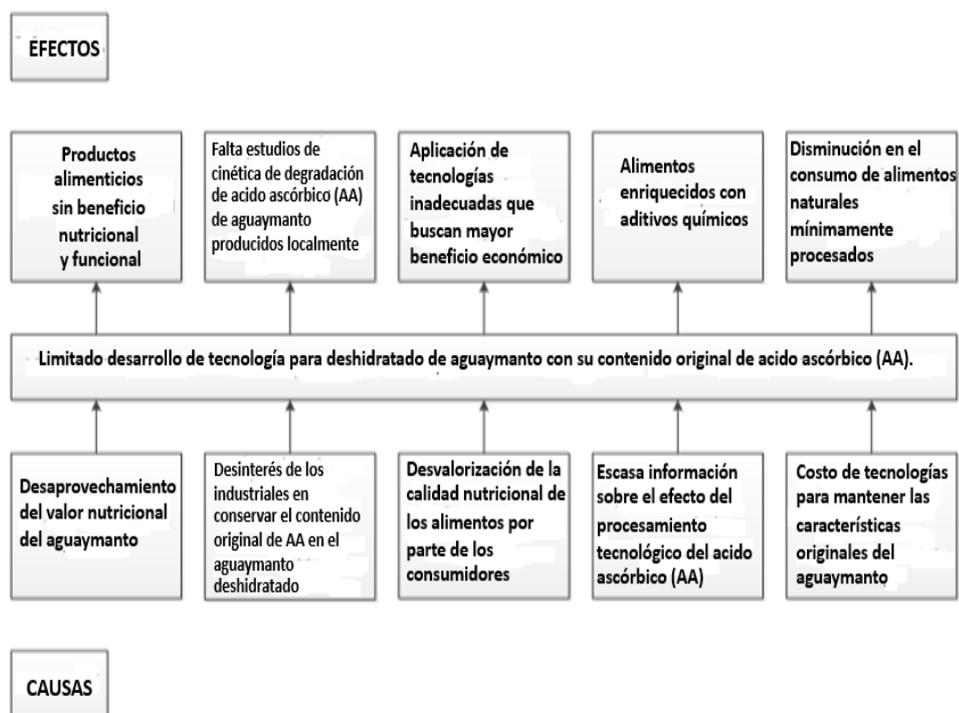


Figura 1. Árbol de problemas: causas – efectos.

Siendo la presente es una **investigación experimental**, donde se busca la explicación, predicción y control de fenómenos físicos y químicos; el enfoque del estudio se lo puede conducir a una dirección positivista, donde la generalización científica se basa en leyes naturales inmutables, para conocer la realidad y propone el uso de dicho método como garantía

de verdad y legitimidad del conocimiento. Ya que determina el tratamiento de los “hechos”.

En la Figura 2 se presenta la Red de Inclusiones, donde mediante una relación de jerarquía, se visualizan los elementos que describen a las variables: dependiente e independiente, para la presente investigación:

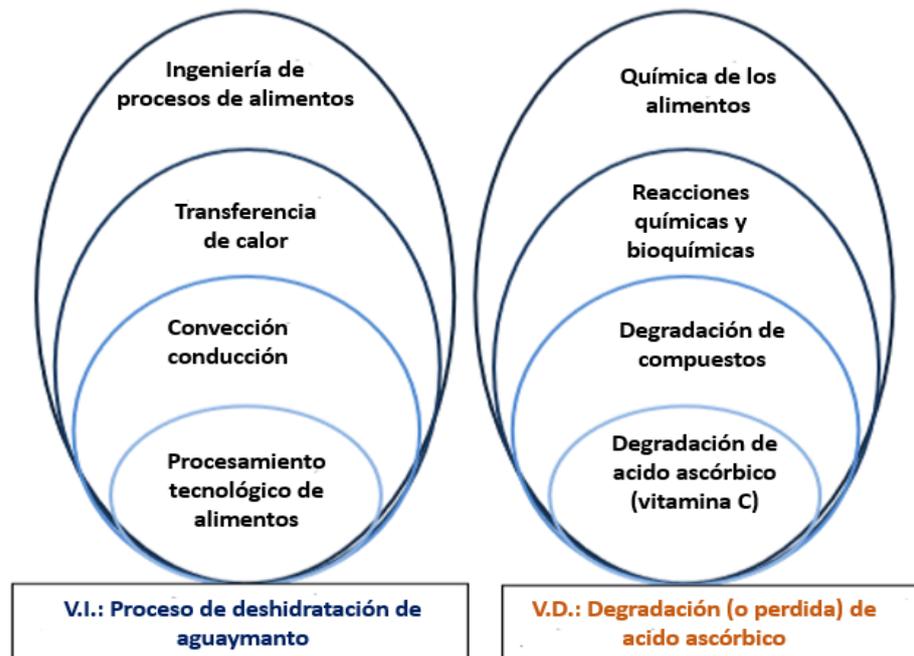


Figura 2. Red de inclusiones de las variables de investigación.

Existen evidencias de no desarrollarse este estudio, no se podrán diseñar equipos y desarrollar procesos tecnológicos que faciliten la elaboración de productos derivados de frutos naturales, como el aguaymanto, para aprovechar la riqueza en ácido ascórbico (vitamina C) que esta presenta; consecuentemente la materia prima no será aprovechada en su totalidad y la salud de los consumidores se verá afectada por la ausencia de este importante nutriente. Y, por otro lado, buscar la mejora de las condiciones económicas y sociales de los productores andinos de aguaymanto. Es por ello, la presente investigación pretende dar a conocer el efecto de la temperatura a la que se lleva el proceso frente al tiempo, para determinar la cinética de degradación del ácido ascórbico, de aquí, la

cinética tiene por objeto predecir la velocidad de las reacciones de degradación del ácido ascórbico, con la cual se podrá conocer el nivel de retención del ácido ascórbico en el aguaymanto deshidratado, en función del tiempo, la temperatura y las variables intervinientes.

La limitada información del efecto de la temperatura durante la deshidratación de aguaymanto pasa sobre la cinética de degradación del contenido de ácido ascórbico, limitan desarrollar procesos tecnológicos adecuados para mantener o proteger el contenido de ácido ascórbico de la fruta original en el producto final.

Debido a lo expuesto, es importante una investigación que brinde un método eficaz de deshidratación que conserve sus propiedades nutritivas y que brinde una base de producción a nivel industrial de aguaymanto pasa, el cual no ha sido explotado de forma adecuado.

1.2. Formulación del problema

Problema general.

¿Cómo determinar experimentalmente la cinética de la degradación del ácido ascórbico durante la deshidratación de aguaymanto (*Physalis peruviana* L)?

Problemas específicos:

- ¿Cómo determinar el orden de la reacción de degradación de ácido ascórbico durante la deshidratación de aguaymanto?
- ¿Cómo determinar los parámetros cinéticos de degradación del ácido ascórbico durante la deshidratación de aguaymanto?
- ¿Cómo determinar a qué temperatura ocurre la menor degradación del ácido ascórbico durante la deshidratación de aguaymanto?

1.3. Objetivos

Objetivo general

Determinar experimentalmente la cinética de la degradación de ácido ascórbico durante la deshidratación de aguaymanto (*Physalis peruviana* l.).

Objetivos específicos.

- Determinar el orden de la reacción de degradación de ácido ascórbico durante la deshidratación de aguaymanto.
- Determinar los parámetros cinéticos de degradación del ácido ascórbico durante la deshidratación de aguaymanto.
- Determinar a qué temperatura ocurre la menor degradación del ácido ascórbico durante la deshidratación de aguaymanto.

1.4. Limitaciones de la investigación

Teórico:

Esta investigación posee las siguientes limitantes:

Poca información teórica sobre la cinética degradación de ácido ascórbico en aguaymanto entera tipo pasas, falta estudios previos de investigación sobre el tema.

No existe una norma técnica nacional (o peruana) sobre aguaymanto deshidratado tipo pasas.

Poca información sobre la interpretación y procesamiento de datos cinéticos de degradación de la vitamina C.

Como esta investigación es experimental, se requiere de un deshidratador acondicionado para manipular las variables involucradas en el proceso de deshidratación más próxima a la deshidratación industrial o de acorde al diseño experimental del investigador según los casos reales. Porque

durante la deshidratación se producen simultáneamente los fenómenos de transferencia de calor y de masa, así como reacciones de degradación.

Por lo expuesto, los siguientes factores están involucrados en los casos mencionados:

- La temperatura.
- La resistencia del producto a la transferencia de calor.
- La velocidad de migración de agua y solutos en el interior del alimento.
- La velocidad de eliminación de vapor de agua de la superficie.
- La relación entre la cantidad de alimento y medio de calefacción.
- La velocidad de evolución de las reacciones de deterioro.
- Las características del equipo deshidratador.
- Las características el producto, en particular el tamaño de partículas y su geometría.

Temporal:

El tiempo propuesto de esta investigación fue de un año, (12 meses) comprendido entre noviembre del 2018 a octubre del 2019. Poco tiempo para investigar, debido a otras obligaciones como el trabajo y otros asuntos personales.

Espacial:

Escasos trabajos de investigación respecto al tema a nivel local, regional y nacional, sobre todo esta investigación está involucrada en el campo alimentario (Área agrícola y Sub área frutícola). Por qué un producto deshidratado prolonga la útil del alimento.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Según **Ramadan (2011)**, la *Physalis peruviana* L. es conocida desde mucho tiempo atrás, pero su potencial para ser cultivado intensamente es reciente, justificado principalmente por la presencia de compuestos bioactivos, como ácido ascórbico, compuestos fenólicos, fitoesteroles y carotenoides. Los compuestos bioactivos, han sido asociados al combate de células cancerígenas, al retardo de los efectos del envejecimiento precoz y a la disminución de la incidencia de enfermedades crónico degenerativas.

Gutiérrez, T. (2007), empleando modelos cinéticos en matrices complejas, analizo el efecto de la temperatura y la intensidad de radiación fluorescente, sobre el contenido de ácido ascórbico en la uchuva (*Physalis peruviana*); además de establecer los parámetros: Ley de velocidad, orden de reacción y energía de activación. Concluyendo que el ácido ascórbico presenta una cinética de primer orden, un tiempo de vida media de 32,1 días almacenado a 4°C, con una energía de activación de 22,291 kJ/mol.

Montiel et al. (2000), efectuaron estudios del efecto de los tratamientos térmicos sobre la acidez, contenido de carotenoides y ácido ascórbico, presentando resultados de la cinética de degradación del ácido ascórbico presentes en el puré de pimientos verdes recién preparados responde a una ley de orden cero, con una energía de activación asociada al proceso de 42,952 kJ/mol.

Matos-Chamorro, et al. (2010), estudiaron la influencia de la concentración en la retención de vitamina C en jugo fresco y concentrado de carambola (*Averrhoa carambola*), utilizando el método de espectrofotometría. Los resultados obtenidos muestran que no hay diferencia significativa en la retención de vitamina C, sea jugo fresco (23,

29,40 %) o concentrado (23, 33,40 %). Concluyendo que la concentración no tiene influencia en la retención de la vitamina C, frente a los tratamientos de calor a diferentes tiempos en el jugo de carambola.

Ordoñez-Santos et al. (2012), estudiaron la cinética de degradación térmica de la vitamina C en pulpa de mango en un rango de temperatura de 60-80 °C. El contenido de vitamina C en las muestras antes y después del tratamiento de calor se determinó por método del 2,6-diclorofenolindofenol. La degradación de la vitamina C se ajusta a una cinética de primer orden ($k = 0,028-0,056 \text{ min}^{-1}$, $R^2 >0,90$) y se obtiene un valor de $E_a = 8,13 \text{ Kal/mol}$.

2.2. Marco:

2.2.1. Teórico

El aguaymanto (*Physalis peruviana L.*): Es una fruta exótica, con atributos nutricionales y con gran interés, por sus magníficas propiedades, capaces de prevenir enfermedades por mal nutrición. Es una excelente fuente de provitamina A, vitamina C y B. Además, la proteína y el fósforo que contiene son excepcionalmente altos para una fruta; aporta el valor nutritivo a la dieta humana tanto en macro nutrientes como micronutrientes ver el Tabla 1 y es de importancia económica para el Perú andino (CYDED, 2014; CAROL, 2014).



Figura 3. Fruto fresco de aguaymanto (*Physalis peruviana L.*). CYTED (2014).

Tradicionalmente ha sido considerada como maleza. Recién desde los años 80 esta fruta empieza a tener un valor económico como cultivo, por sus características de buen aroma, sabor agridulce y bondades medicinales.

TABLA 1

Composición de aguaymanto (Physalis peruviana L.) por cada 100 g de muestra.

Componente	(1)	(2)
Humedad (%)	78,90	79,80
Proteína (g)	0,05	1,90
Grasa (g)	0,16	0,84
Carbohidratos (g)	16,00	13,70
Fibra (g)	4,90	3,20
Cenizas (g)	1,01	0,65
Tianina (mg)	-	-
Riboflavina (mg)	0,03	-
Vitamina A (U.I.)	-	4400
Vitamina C (mg)	43,00	43,30
Potasio (mg)	-	292,70
Calcio (mg)	8,00	10,55
Sodio (mg)	-	-
Fósforo (mg)	55,30	37,90
Hierro (mg)	1,23	1,24

Nota. Juntamay (2010) y Enima y Repo (2008).

Ácido ascórbico: El ácido ascórbico o vitamina C, es una vitamina hidrosoluble presente en frutas y vegetales tales como los cítricos, las verduras frescas y especialmente en el aguaymanto. El ácido ascórbico es un antioxidante y captador de radicales libres y es considerado en este sentido más eficaz que la vitamina E o beta caroteno.

El nombre “ascórbico” procede del prefijo **a** (que significa “no”) y de la palabra latina **scorbuticus** (escorbuto), una enfermedad causada por la deficiencia de la vitamina C.

Esta vitamina se destruye con facilidad por la luz, el calor y el oxígeno hasta valores entre 90- 100 % del contenido total. Por este motivo, la cantidad de vitamina C es especialmente rica en frutas y vegetales de consumo en crudo y de manera inmediata: frutas y ensaladas. Por ejemplo, un zumo de naranja natural expuesto a la luz y el oxígeno del aire, si no se consume de inmediato, pierde casi toda la vitamina C.

La vitamina C es un micronutriente esencial en la alimentación del hombre al estar asociada a la síntesis de diferentes moléculas de importancia en la salud humana, y a su efecto antioxidante relacionado con la reducción del riesgo de contraer diferentes tipos de cáncer, como lo evidencian diferentes estudios epidemiológicos (Carol Byrd-Bredbenner, 2014).

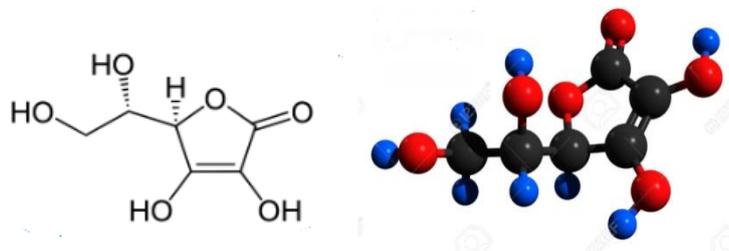


Figura 4. Molécula de Ácido ascórbico.

Esta vitamina C, es muy sensible a diversos factores de degradación. Entre estos factores que pueden influir en los mecanismos degradativos se pueden citar la temperatura, la concentración de azúcar, el pH, el oxígeno, las enzimas, los catalizadores metálicos, la concentración inicial de ácido y la relación ácido ascórbico – ácido dehidroascórbico (su forma oxidada), es de esperar la degradación de vitamina C. Por tanto, el **ácido ascórbico**, es un **indicador de calidad**, ya que al ser uno de los nutrientes más sensibles al tratamiento térmico aplicado en

frutas durante la deshidratación, su retención asegura que otros componentes permanezcan sin alterarse durante el procesamiento.

Este ácido no es sintetizable por el organismo humano, por lo que se debe ingerir desde los alimentos que lo proporcionan las frutas y vegetales verdes. La vitamina C es un excelente antioxidante, pues es capaz de ceder electrones a moléculas oxidadas, dando lugar a especies no tóxicas.

2.2.2. Conceptual

- Reacciones químicas de deterioro:

Como se sabe, la mayoría de los alimentos se alteran durante el proceso, almacenamiento, produciéndose diversos tipos de deterioros, incluso, la inutilización.

La palabra deterioro suele utilizarse para designar la pérdida de características deseables en un producto alimentario, sin que por ello resulte necesariamente impropio para el consumo. El deterioro se detecta, en general, por la aparición de sabores y colores en los productos alimentarios. También se detecta por la variación de otras características organolépticas, propiedades nutricionales, el olor y la textura.

Reacción simple. En este caso para predecir el cambio de composición de un sistema solo es necesario emplear una ecuación estequiometría y una ecuación cinética.

Velocidad de reacción. La velocidad de reacción indica la cantidad de reactivo formado o de reactivo desaparecido (normalmente en moles) por unidad de tiempo y con una base de referencia que haga de la velocidad de reacción una magnitud intensiva. Esta base de referencia puede ser el volumen en reacciones homogéneas.

Ecuación cinética. Es la ecuación algebraica que permite predecir de forma satisfactoria la velocidad de reacción, en función de las variables que modifican dicha velocidad. Estas variables son la temperatura y las concentraciones de reactivos y productos.

Parámetros cinéticos. Estos parámetros aparecen en la ecuación cinética para cuantificar el efecto de las variables en la velocidad de reacción. Son la constante cinética (k) y las ordenes de reacción (n) de los reactivos y de los productos. En general estos parámetros no se pueden estimar a priori y deben obtenerse de modo empírico por ajuste de datos experimentales.

Cinéticos de reacciones. En el caso en que el ácido ascórbico sufre una transformación química durante un proceso de tratamiento térmico. Los modelos se fundamentan en que la tasa de deterioro puede expresarse como un cambio en las concentraciones deseables o indeseables en función del tiempo.

Dada una transformación química de la forma



La ecuación cinética diferencial es

$$\frac{-d(CA)}{dt} = k(CA)^n \quad (1)$$

Donde:

$\frac{-d(CA)}{dt}$: Cambio de cantidad de ácido ascórbico (CA) con el tiempo.

CA : Concentración de ácido ascórbico a cualquier tiempo.

k : Constante de velocidad de reacción de deterioro

n : Orden de la reacción (0,1,2)

Después de un procedimiento aritmético o integrando se tiene:

$$\frac{1}{1-n} \left((CA)^{1-n} - (CA_0)^{1-n} \right) = kt \quad (2)$$

Donde:

(CA_0) Concentración inicial de ácido ascórbico a tiempo cero

Esta expresión matemática indica como varia la concentración de ácido ascórbico (CA) a lo largo del tiempo en el caso de una reacción de un solo compuesto y de orden n.

Tratamiento de los datos cinéticos:

A partir de métodos acorde con el sistema objeto de estudio, es posible determinar la variación de la concentración de ácido ascórbico a lo largo del tiempo para obtener expresiones cinéticas que relacionen velocidad y concentración, de acuerdo con el mecanismo y tipo de reacción.

En los casos donde la cinética de la reacción de deterioro no es conocido, hay que adecuar y expresar matemáticamente la ecuación (2) para valores de n= 0; 1 y 2 respectivamente, y los resultados se presenta en el Tabla 1.

La constante de velocidad (k) es una cantidad positiva y tiene unidades de la reciproca del tiempo. En la constante de velocidad está involucrada principalmente la afectación de temperatura, el aumento en la temperatura produce el aumento en la velocidad de la mayor parte de las reacciones, alterando las concentraciones de ácido ascórbico (Ordoñez, E. y Ospina R. (2013)

Tabla 2

Expresión de la ecuación diferencial e integrada de la velocidad de degradación para tres valores de n .

Velocidad de degradación y efecto del orden de la reacción		
De orden cero	De orden uno	De orden dos
n=0	n=1	n=2
$d(CA) = -kdt$	$d(CA) = -k(CA_0)dt$	$d(CA) = -k(CA_0)^2 dt$
Ecuaciones adecuadas para determinar la constante de velocidad de degradación		
$(CA) - (CA_0) = kt$	$Ln \left[\frac{CA_0}{CA} \right] = kt$	$\frac{1}{(CA)} - \frac{1}{(CA_0)} = kt$

Relación entre la velocidad específica de reacción y la temperatura: Ecuación de Arrhenius.

En muchos estudios experimentales permitieron establecer la relación entre la velocidad específica de destrucción térmica (k) y la temperatura (T), entre otros modelos, el propuesto por Svante Arrhenius (en 1887) es el más adecuado para describir el efecto de la temperatura sobre la velocidad específica de destrucción térmica de microorganismos, enzimas y vitaminas. Expresada como:

$$\frac{d(\ln k)}{dT} = \frac{Ea}{RT^2} \tag{3}$$

Integrando la ecuación (3) desde la inversa de la temperatura ($1/T$) cuando tiende a cero hasta que esta inversa sea más grande (la temperatura es más pequeña) y de la velocidad específica de destrucción es A .

$$Lnk = LnA - \left(\frac{Ea}{R} \right) \left(\frac{1}{T} \right) \tag{4}$$

También se puede escribir

$$k = Ae^{-E_a/RT} \quad (5)$$

Donde:

E_a : Energía de activación de la degradación (cal/mol)

R: Constante general de los gases (1.987 cal/mol K)

T: Temperatura absoluta (K)

A. Factor de frecuencia

La ecuación (4) es una línea recta en grafica semi- logarítmica (Ln k Vs1/T)

y $\frac{E_a}{R}$ es la pendiente de la recta

Plotear por lo menos con datos a tres temperaturas para tener cierta exactitud.

Gutiérrez *et al* (2007) señala que el valor de la E_a obtenido para el ácido ascórbico en el aguaymanto oscila entre 5 -40 kcal/mol rango que corresponde a una amplia gama de frutas estudiadas. La E_a indica el efecto de la temperatura sobre la constante de rapidez de la reacción del ácido ascórbico en la fruta. Las reacciones con valores de E_a pequeños son menos sensibles a los cambios de temperatura.

2.3. Definición de términos básicos

- La deshidratación:

La deshidratación ha sido desde siempre el mejor sistema de conservar los alimentos se trata de extraer solamente el agua, mediante calor suave que no altera los nutrientes. La deshidratación no solo es útil para alargar la vida de nuestros alimentos sino también no facilita el almacenaje, transporte y manipulación de los mismos.

La investigación consistió en deshidratar aguaymanto a tres temperaturas pre establecidas: 60, 70 y 80 °C, como factor de mayor importancia es el contenido final de ácido ascórbico en el aguaymanto deshidratado (en pasas), para lo cual se realizó un seguimiento de la degradación térmica del ácido ascórbico con el tiempo y la temperatura, cuantificándose la cantidad de dicho factor en el transcurso del proceso de deshidratación. Para ello se toman muestras a intervalos de tiempo de una hora con el fin de determinar el contenido de ácido ascórbico en la muestra, hasta que la fruta deshidratada tipo pasas alcance una humedad del 15 %, reportando los datos obtenidos en las tres temperaturas, Finalmente, estos datos permitirán determinar los parámetros cinéticos de degradación de ácido ascórbico durante el proceso de deshidratación.

Proceso de deshidratación experimental

La deshidratación constituye uno de los métodos que permite separar total o parcialmente un líquido de un sólido alimenticio por evaporación producida por una corriente de aire caliente, en esta operación está involucrado los fenómenos de transporte como los mecanismos de transmisión de calor, transporte de materia y cantidad de movimiento que ocurren de manera simultánea. En este sentido, para el proceso experimental de deshidratado de aguaymanto, es diseñar un equipo experimental similar a los deshidratadores industriales, en la cual se puede controlar y regular las variables involucradas durante el proceso experimental.

A pesar de que la deshidratación es uno de los métodos de conservación más usados en alimentos, se **pueden provocar cambios fisicoquímicos y afectar las propiedades de calidad del producto deshidratado**; estos cambios pueden verse reflejados en el color, la textura, densidad y porosidad, así como en el nivel nutricional del producto. Por lo que, se han **empleado indicadores de calidad**, como el **ácido ascórbico**, permiten inferir acerca del

estado nutricional de los alimentos y, al ser uno de los biocomponentes más sensibles encontrado en éstos, su retención garantiza que otros componentes permanezcan sin alterarse durante el procesamiento.

Por tanto, durante la deshidratación se toman muestras a diferentes intervalos de tiempo de deshidratación y posteriormente se les determino el contenido de humedad y de ácido ascórbico.

La deshidratación involucra **ciertas variables como: humedad, tamaño del producto, temperatura, entre otros**; al predecir sus efectos se podrían manipular de tal manera de poder reducir la pérdida nutricional, obteniéndose un producto con mejores características nutrimentales. Por tanto. Es importante el estudio de la degradación del ácido ascórbico durante la deshidratación convectiva (por aire caliente) del aguaymanto (*Physalis peruviana L.*). Las variables y/ o parámetros involucrados en la degradación del ácido ascórbico (AA), se visualizan en la figura N° 5:

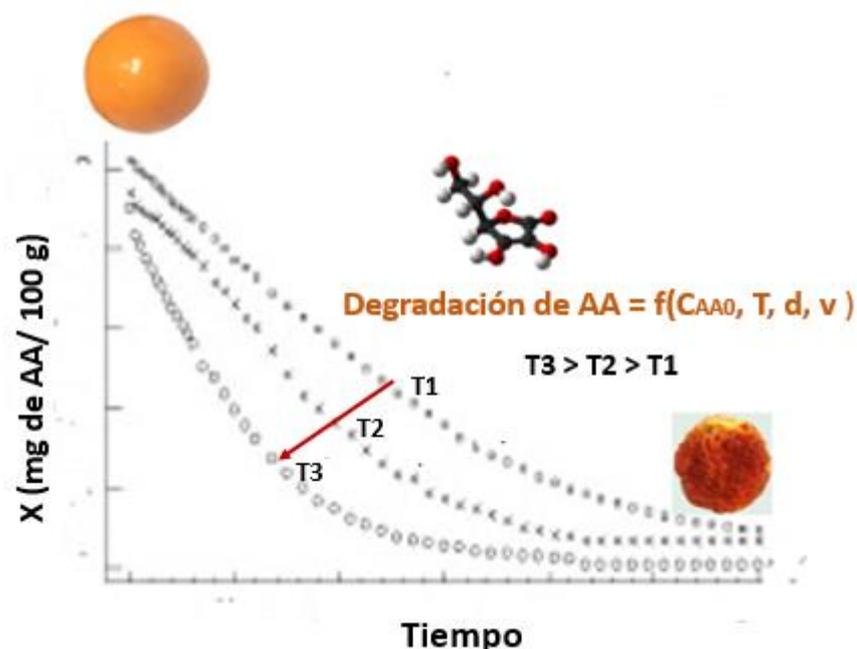


Figura 5. Esquema relacionando las variables de degradación del ácido ascórbico (AA), en aguaymanto durante la deshidratación en función de la temperatura (T), tiempo /t), tamaño de la fruta (D) y de la velocidad de aire (v).

Durante el estudio los resultados experimentales se representaron gráficamente:

- C_{AA} vs tiempo para dos velocidades de aire caliente
- C_{AA} vs tiempo para tres temperaturas
- C_{AA} vs tiempo para un tamaño preestablecido de fruta

Para realizar esta investigación, se ha diseñado y construido un quipo experimental con características en la cual se puede manipular las variables involucradas para determinar los parámetros de la cinética de degradación del ácido ascórbico durante el tratamiento térmico del aguaymanto en condiciones similares a la deshidratación industrial, el equipo experimental se muestra en la Figura 6.



Figura 6. Deshidratador experimental que consta de: Consola de encendido y apagado, control de temperatura por medio de una termocupla tipo K, control de velocidad de aire y una cámara con bandeja giratoria para muestras.



Figura 7. Tablero o consola de control y Ventilador.



Figura 8. Cámara de deshidratación.



Figura 9. Muestra en proceso.

Temperatura. Las reacciones químicas son por lo general muy sensibles a la temperatura y por eso conviene estudiarlas a temperatura constante. La elección de la temperatura de trabajo puede permitir que una reacción transcurra más lenta o más rápida, según convenga el estudio.

- **Determinación vitamina C por titulación con DCFIF.**

Es un método oficial de análisis (Método 967,21 de la AOAC) para la determinación de la vitamina C en zumos, es el método volumétrico del **2,6-diclorofenolindofenol (DCFIF)**, Aunque no es el oficial para otros tipos de productos alimenticios. Este método se basa en el poder reductor del ácido ascórbico. El ácido ascórbico se

determina por valoración con el colorante DCFIF que es reducido por el ácido ascórbico a una forma incolora en medio ácido. La forma oxidada del reactivo es azul y la reducida incolora.

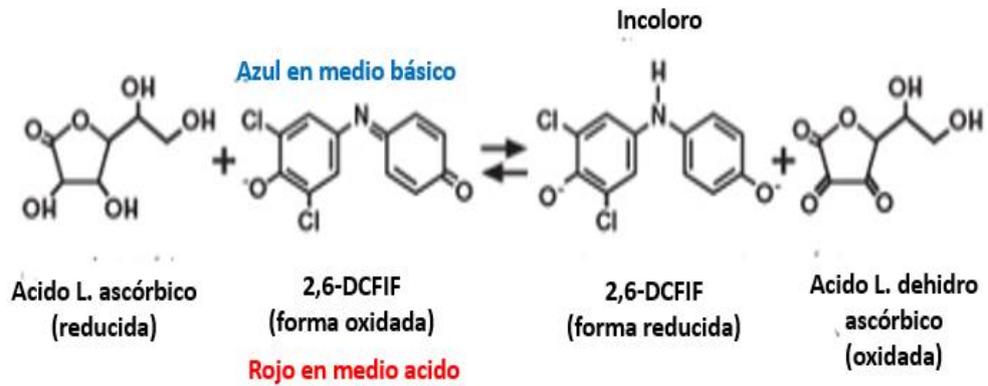


Figura 10. Reacción de degradación por oxidación del ácido ascórbico.

El ácido L. ascórbico se oxida al ácido L, dehidroascórbico por medio del tinte indicador. En el punto final, el exceso de tinte no reducido es de color rosa-rosado en la disolución ácida.

La concentración de ácido ascórbico fue medida a intervalos de tiempo de una hora durante 8 horas en todos los tratamientos a cada temperatura empleada

CAPITULO III: HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis

- **Hipótesis general:**

Determinación de la concentración de degradación de ácido ascórbico durante la deshidratación y el tiempo permite determinar el orden de reacción y los parámetros cinéticos.

- **Hipótesis específico:**

- La degradación de ácido ascórbico durante la deshidratación sigue una cinética de primer orden.
- El modelo cinético de primer orden permitirá determinar la constante de velocidad y la energía de activación.
- La menor degradación de ácido ascórbico ocurre a 60 °C durante la deshidratación de aguaymanto.

3.2. Definición conceptual de variables

Las variables son la siguiente: $Y = f(X_1, X_2, X_3)$

Variable dependiente (Y):

Variación en el contenido de ácido ascórbico durante la deshidratación de aguaymanto.

Las variables independientes

X₁: Concentración de ácido ascórbico

X₂: Tiempo

X₃: Temperatura

Variables intervinientes:

- Eficiencia del deshidratador
- Métodos e instrumentos de análisis de ácido ascórbico.
- Madurez, tamaño o forma geométrica de la fruta

- Las condiciones normales del lugar de investigación, tales como la presión, humedad relativa, etc.

3.3. Operacionalización de variables

La operacionalización de las variables es la traducción y selección de las dimensiones que será utilizada en la investigación del modelo cinético de la degradación del ácido ascórbico. Para la operacionalización de variables definimos primero:

Un indicador. Es una comparación entre dos o más datos que sirve para elaborar una medida cuantitativa o una observación cualitativa.

Dimensiones. Son las unidades de medida.

Tabla 3
Operacionalización de las variables.

Variable Dep.	Indicadores	Método
Y: Variación en el contenido de ácido ascórbico durante la deshidratación de aguaymanto.	Miligramos/100 g	Determinación del ácido ascórbico con el método AOAC. Official Methods 967.21
Variable Ind.	Indicadores	Método
X1: Concentración de ácido ascórbico	Mol/L 0: orden cero 1: orden 1 2: orden 2	Modelado con ajuste lineal de datos experimentales
X2: Tiempo.	t K Ea	Cronometro Balanza analítica Termómetro
X3: Temperatura	T (K)	Termocupla

CAPITULO IV: DISEÑO METODOLÓGICO

4.1. Tipo y Diseño de la Investigación

- **Tipo de Investigación:**

De acuerdo a la naturaleza de los problemas y objetivos formulados en el proyecto de investigación, reúne las características y condiciones suficientes para ser calificado como una Investigación **aplicada, experimental y correlacionales**, por tanto, es una investigación básica y cuantitativo.

- **El diseño de la investigación:**

a) Preparación de las soluciones tales como: Solución estándar de ácido ascórbico, Solución extractora para el zumo de aguaymanto y la solución de colorante 2,6- diclorfenolindofenol.

b) Diseño del equipo experimental de deshidratación

Se ha evaluado las características del equipo deshidratador experimental, que permita programar y controlar los indicadores de las variables de proceso como: la temperatura y velocidad del aire; con el propósito de determinar los parámetros del modelado cinético de la degradación de ácido ascórbico durante la deshidratación de aguaymanto tipo pasas.

c) Montaje de equipos auxiliares: un sistema de filtración y de titulación volumétrica.

4.2. Método de Investigación

La investigación que realizado es experimental, entre sus características están la manipulación de la información, de las variables independientes que permite controlar las situaciones creadas o prediseñados.

4.3. Población y muestra

Población: El criterio de población y muestra no es aplicable para la presente investigación. Lo que se utilizó fue el criterio de la muestra experimental.

La muestra experimental: La muestra experimental de la investigación se ha determinado en función del sistema de análisis del ácido ascórbico en muestras en proceso de deshidratación para intervalos de tiempo de una hora para el análisis correspondiente.

4.4. Lugar de estudio y periodo desarrollado

El presente trabajo de investigación ha tenido como escenario el Laboratorio de Química de Alimentos y el Laboratorio de investigación, Desarrollo e Innovación de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao.

El periodo desarrollado fue de un año (12 meses) comprendido entre primero de diciembre de 2018 a 30 de noviembre del 2019.

4.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de la información

En esta investigación se utilizará las técnicas de recolección de datos citadas por: **AOAC**. Association of Official Analytical Chemists. Official Methods 967.21, ascorbic acid in vitamin preparations and juices. 2,6-dichloroindophenol titrimetric method.

Uso de una computadora para almacenar información, datos experimentales y procesamiento estadístico de las mismas.

Materiales y métodos

El presente trabajo se realiza en el Laboratorio de Química y Tecnología de Alimentos de la FIQ - UNAC.

- **Material vegetal.** Frutos de aguaymanto (*Physalis peruviana L.*) maduros y recién cosechados de color anaranjado y de forma esférica, obtenidos en el Mercado Minka, ubicado en Bellavista – Callao. Las muestras son desinfectadas, seleccionados en tamaños, etc. Según las pruebas a realizar para dar respuesta a la hipótesis planteada.

- **Materiales y equipos**
 - Deshidratador experimental de bandejas con aire caliente
 - Balanza analítica
 - Recipientes de vidrio: Erlenmeyer, buretas, vasos, embudos, pipetas, probetas, etc.
 - Cronometro
 - Anemómetro
 - Refrigeradora
 - Sistema instalado para filtración y para titulación volumétrica.
 - Agua destilada

- **Reactivos**
 - 2,6-diclorofenolindofenol, sal sódica dihidrato (Q.P.).
 - Acido oxálico (Q.P.)
 - Ácido ascórbico (Q.P.)
 - Bicarbonato sódico (Q.P.)

Preparación de reactivos:

- **Solución extractora al 0.4 %:** Pesar exactamente 4 g de ácido oxálico, diluir y enrasar hasta 1000 ml con agua destilada.

- **Solución estándar de ácido ascórbico (1mg/ml):** Pesar exactamente 50 mg de ácido ascórbico. Diluir con igual volumen de

solución extractora al 0.4 % (50 ml) en un matraz aforado. Preparado inmediatamente antes de usarse.

- **Solución patrón de 2,6-Diclorofenolindofenol (DCFIF):** Pesar exactamente 50 mg de 2,6-diclorofenolindofenol, sal sódica dihidrato previamente desecado y, pesar también 42 mg de bicarbonato de sodio, la mezcla de ambas diluir con 50 ml de agua destilada caliente agitando vigorosamente y cuando el colorante se disuelva, diluir hasta 200 ml con agua, Filtrar sobre papel estriado y guardar en un frasco oscuro o ámbar con tapón, mantenga en lugar oscuro y bajo refrigeración.

Procedimiento experimental.

Preparar 8 muestras cada una de 10 g de aguaymanto fresco luego colocar en el deshidratador a la temperatura ya establecida (p.ej. 60°C, que debe mantenerse constante durante la experiencia). A tiempo igual a cero se determina el contenido inicial de ácido ascórbico (CA_0) y en las siguientes muestras se determina el ácido ascórbico a intervalos de una hora.

Después de una hora, se toma una de las muestras del deshidratador luego se extrae el zumo de dicha muestra con un exprimidor, del cual se toma 5 ml zumo y se agrega 10 ml de solución extractora (ácido oxálico al 0.4%), luego de esta mezcla se toma una alícuota de 2 ml y se titula inmediatamente con solución de 2,6-diclorofenolindofenol hasta que en el punto final el colorante confiere una coloración rosada que debe persistir, al menos durante 10 segundos para ser válido. Esta operación se realiza por triplicado y los cálculos finales se determinan con el valor promedio.



Figura 11. Muestras de zumo extraído.

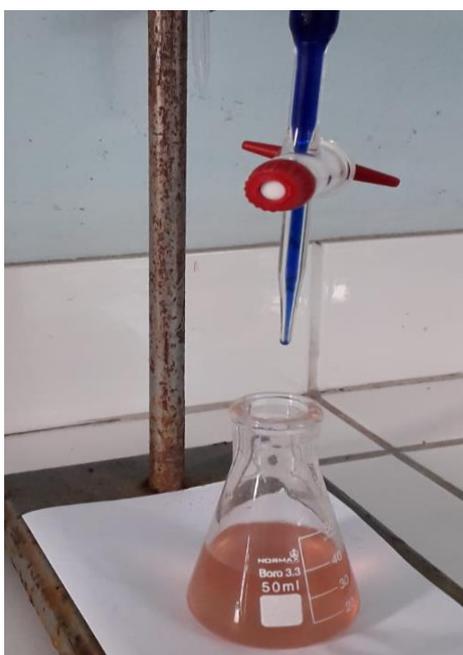


Figura 12. Titulación de la muestra con DCFIF.

4.6. Análisis y procesamiento de datos

Para el análisis de los datos experimentales de degradación de ácido ascórbico en el tiempo durante la deshidratación de aguaymanto en pasa, a tres temperaturas prefijadas, se analizará mediante la regresión lineal, de la cual se estimarán los parámetros cinéticos. Además, los mismos datos procesaremos por algún método numérico, comparando los mismos parámetros obtenidos, que resulte una mejor aproximación a los datos experimentales; para cuales se harán uso de programas como Excel, Polymath.

CAPITULO V: RESULTADOS

5.1. Resultados descriptivos

Efecto de la velocidad del aire sobre el contenido ácido ascórbico

Los resultados del análisis estadístico reportaron que no hubo efectos significativos por parte de la velocidad de aire (2.3 y 5.3 m/s) sobre el contenido de ácido ascórbico durante la deshidratación de aguaymanto a la temperatura de 70°C.

Tabla 4

Efecto de la velocidad del aire sobre el contenido de ácido ascórbico en aguaymanto de diámetro (18.1- 20.0 mm) deshidratadas a 70°C.

Tiempo (h)	velocidad del aire (m/s)	
	2.3	5.3
0	46.7	46.7
1	41.9	43.4
2	41.2	40.2
3	36.4	37.1
4	33.6	32.1
5	29.1	28.6
6	26.2	27.2

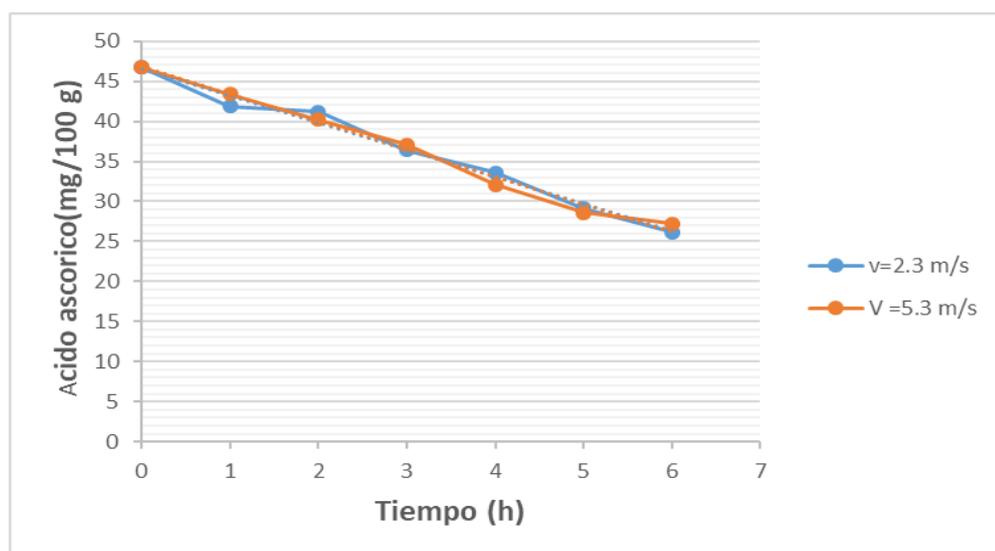


Figura 13. Efecto de la velocidad del aire sobre el contenido de ácido ascórbico en aguaymanto de diámetro (18.1- 20.0 mm) deshidratadas a 70°C.

Se observó tanto a la velocidad de 2.3 m/s como a la de 5.3 m/s un comportamiento similar en la velocidad de pérdida del ácido ascórbico. Como era de esperarse, en ambos casos conforme transcurrió el tiempo de deshidratación la cantidad de ácido ascórbico fue disminuyendo, no diferencia significativa entre las dos velocidades de aire estudiadas

Efecto de la temperatura sobre la degradación del ácido ascórbico.

Para los casos donde el orden de reacción de deterioro (n) toma valores como: 0; 1 y 2 respectivamente en la expresión anterior, se obtiene resultados que se presenta en la Tabla 5.

Tabla 5

Ecuaciones de la cinética integradas para los tres valores de n, y adecuadas para su respectiva presentación gráfica.

Ecuaciones cinéticas adecuadas de degradación		
Para orden cero, n=0	Para orden uno, n=1	Para orden dos n=2
$(CA_0 - CA) = k_0 t$	$Ln\left(\frac{CA_0}{CA}\right) = k_1 t$	$\left[\frac{1}{CA} - \frac{1}{CA_0}\right] = k_2 t$

Los resultados experimentales obtenidos se reportan en cuadros y sus correspondientes graficas respectivas y sus valores de los parámetros cinéticos a tres temperaturas de 60,70 y 80 °C a las cuales se realizaron la investigación.

Tabla 6

Contenido de ácido ascórbico durante el proceso de deshidratación de aguaymanto a las temperaturas de 60,70 y 80°C (mg de ácido ascórbico/100 g de muestra).

Tiempo (h)	Temperatura °C		
	60	70	90
0	45.2	45.2	45.2
1	43.9	42.4	40.6
2	41.1	39.1	36.2
3	37.5	34.5	30.9
4	34.1	31.9	26.8
5	31.4	27.8	23.2
6	29.3	25.6	21.1
7	27.8	24.1	19.3
8	26.5	21.6	17.2

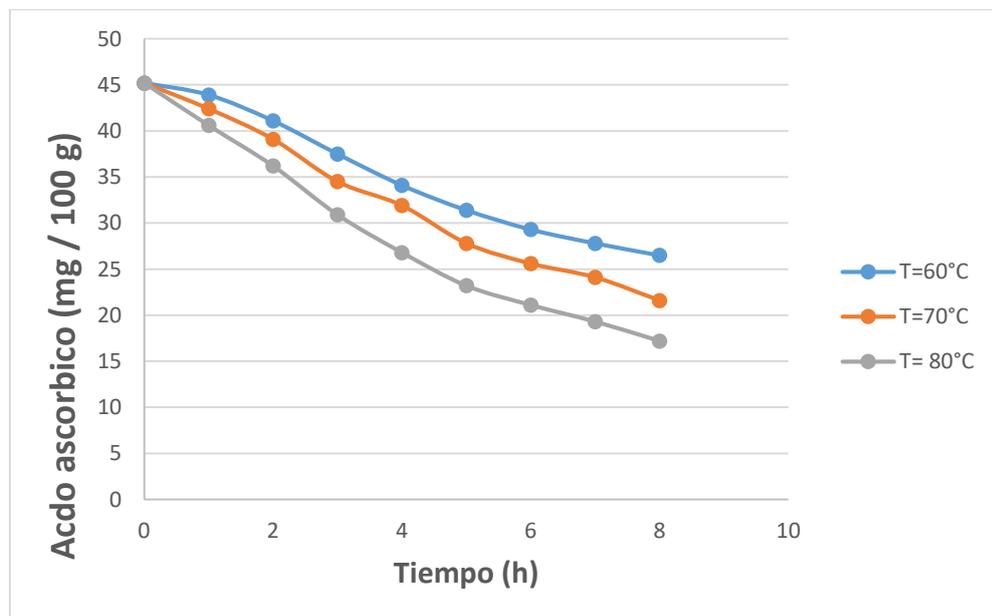


Figura 14. Comportamiento del ácido ascórbico del aguaymanto durante el proceso de deshidratación a temperaturas de 60, 70 y 80 °C.

5.2. Resultados inferenciales

Tabla 7

Cálculos de los parámetros cinéticos para determinar el orden de degradación del ácido ascórbico a la temperatura de 60 °C.

Tiempo (h)	CA	(CAo-CA)	Ln(CAo/CA)	(1/CA)-(1/CAo)
0	45.2	0.00000	0.00000	0.00000
1	43.9	1.30000	0.02918	0.00066
2	41.1	4.10000	0.09509	0.00221
3	37.5	7.70000	0.18676	0.00454
4	34.1	11.10000	0.28180	0.00720
5	31.4	13.80000	0.36429	0.00972
6	29.3	15.90000	0.43351	0.01201
7	27.8	17.40000	0.48606	0.01385
8	26.5	18.70000	0.53395	0.01561

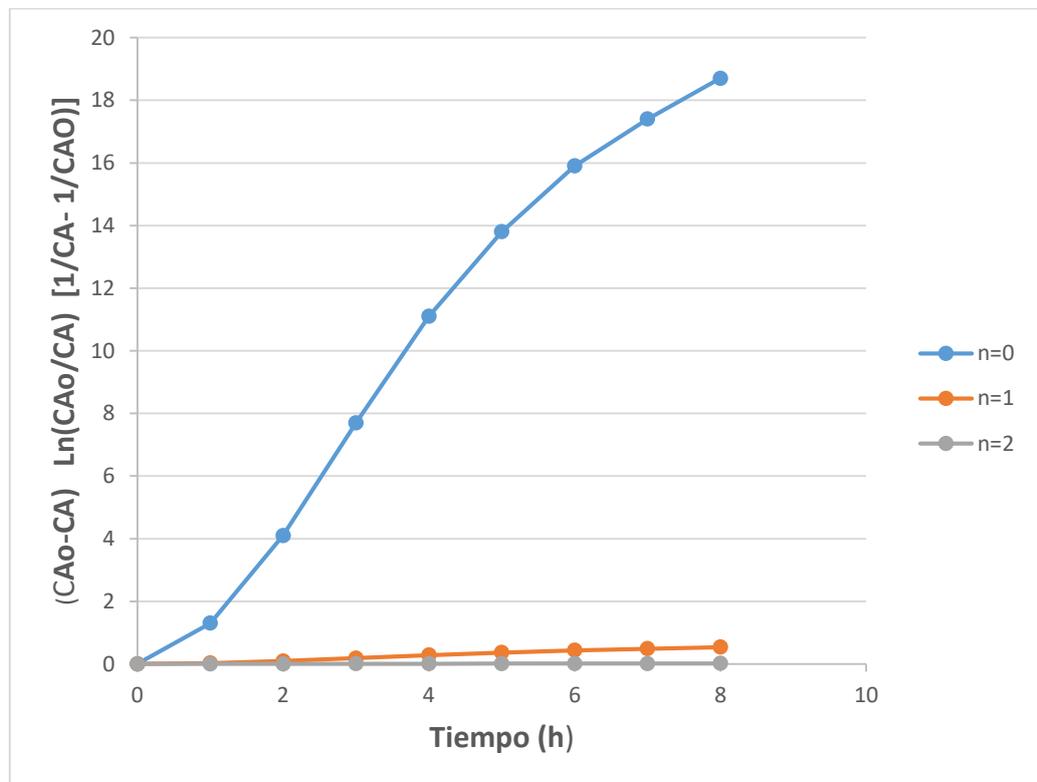


Figura 15. De la gráfica se observa que la degradación de ácido ascórbico durante el tratamiento térmico a 60°C es de primer orden.

Tabla 8

Cálculos de los parámetros cinéticos para determinar el orden de degradación del ácido ascórbico a la temperatura de 60 °C.

Tiempo (h)	CA	(CAo-CA)	Ln(CAo/CA)	(1/CA)-(1/CAo)
0	45.2	0.00000	0.00000	0.00000
1	42.4	2.80000	0.06395	0.00146
2	39.1	6.10000	0.14497	0.00345
3	34.5	10.70000	0.27014	0.00686
4	31.9	13.30000	0.34849	0.00922
5	27.8	17.40000	0.48606	0.01385
6	25.6	19.60000	0.56850	0.01694
7	24.1	21.10000	0.62889	0.01937
8	21.6	23.60000	0.73840	0.02417

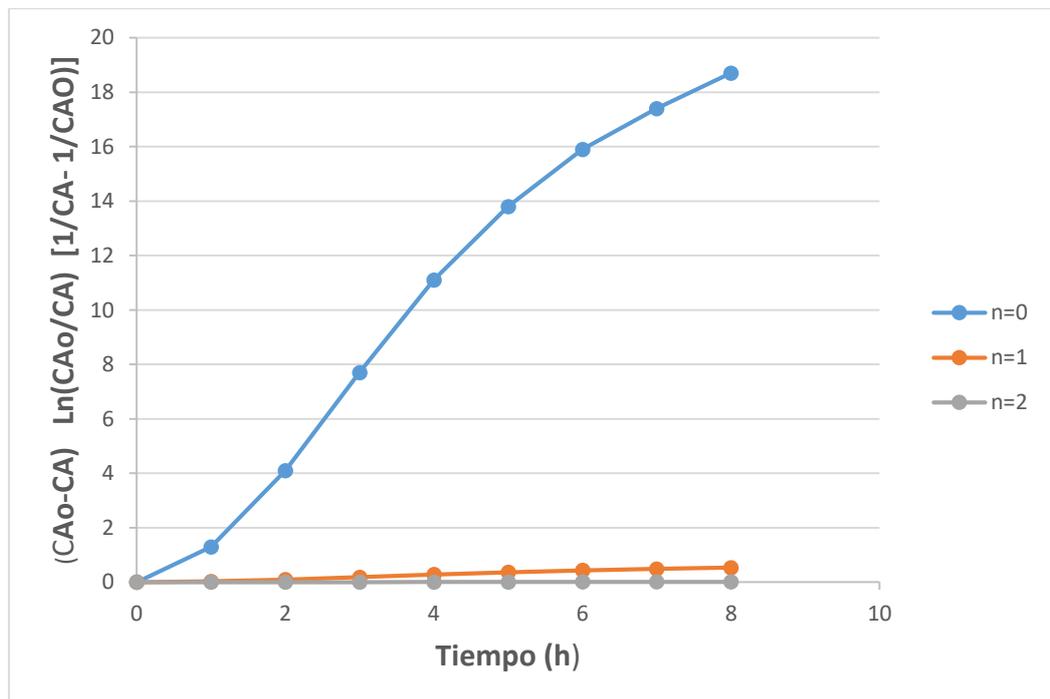


Figura 16. De la gráfica se observa que la degradación de ácido ascórbico durante el tratamiento térmico a 70°C es de primer orden.

Tabla 9

Cálculos de los parámetros cinéticos para determinar el orden de degradación del ácido ascórbico a la temperatura de 80 °C.

Tiempo (h)	CA	(CAo-CA)	Ln(CAo/CA)	(1/CA)-(1/CAo)
0	45.2	0.00000	0.00000	0.00000
1	45.2	4.60000	0.10700	0.00260
2	45.2	9.00000	0.22200	0.00560
3	45.2	14.30000	0.38000	0.01040
4	45.2	18.40000	0.52300	0.01530
5	45.2	22.00000	0.66600	0.02110
6	45.2	24.10000	0.76200	0.02540
7	45.2	25.90000	0.85100	0.02980
8	45.2	28.00000	0.96600	0.03610

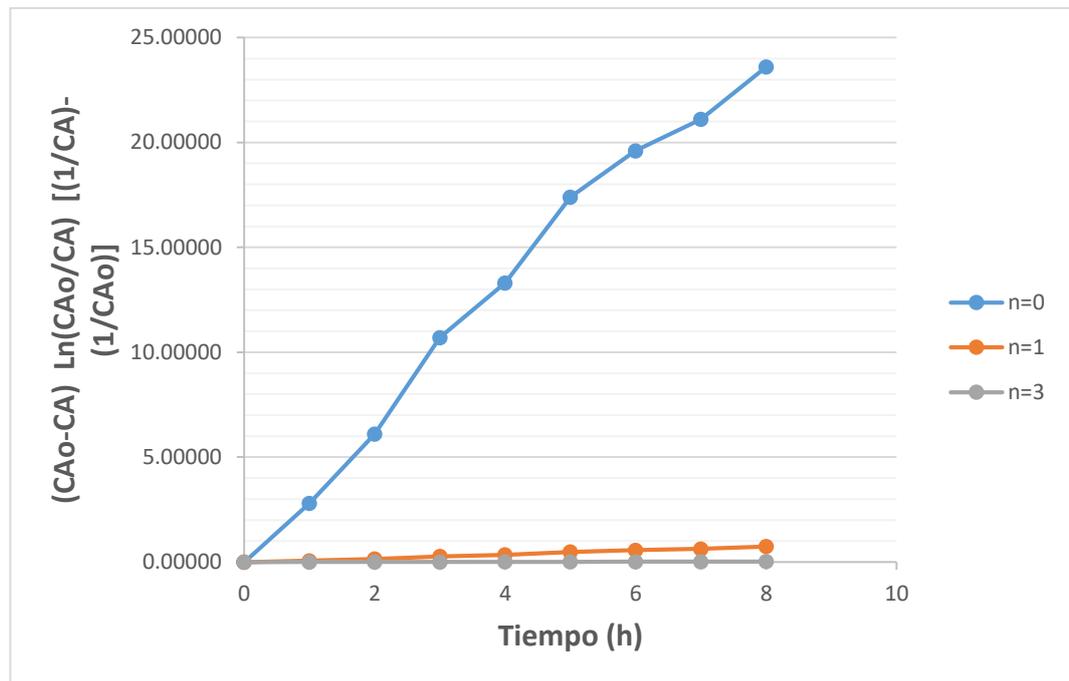


Figura 17. De la gráfica se observa que la degradación de ácido ascórbico durante el tratamiento térmico a 80°C es de primer orden.

5.3. Otro tipo de resultados de acuerdo a la naturaleza del problema y la hipótesis

Tabla 10

Efecto de los tratamientos térmicos en la cinética de degradación del ácido ascórbico es de primer orden para las tres temperaturas de 60, 70 y 80 °C

Tiempo (h)	Ln(CAo/CA)		
t	60 °C	70°C	80°C
0	0.00000	0.00000	0.00000
1	0.02918	0.06395	0.10700
2	0.09509	0.14497	0.22200
3	0.18676	0.27014	0.38000
4	0.28180	0.34849	0.52300
5	0.36429	0.48606	0.66600
6	0.43351	0.56850	0.76200
7	0.48606	0.62889	0.85100
8	0.53950	0.73840	0.96600

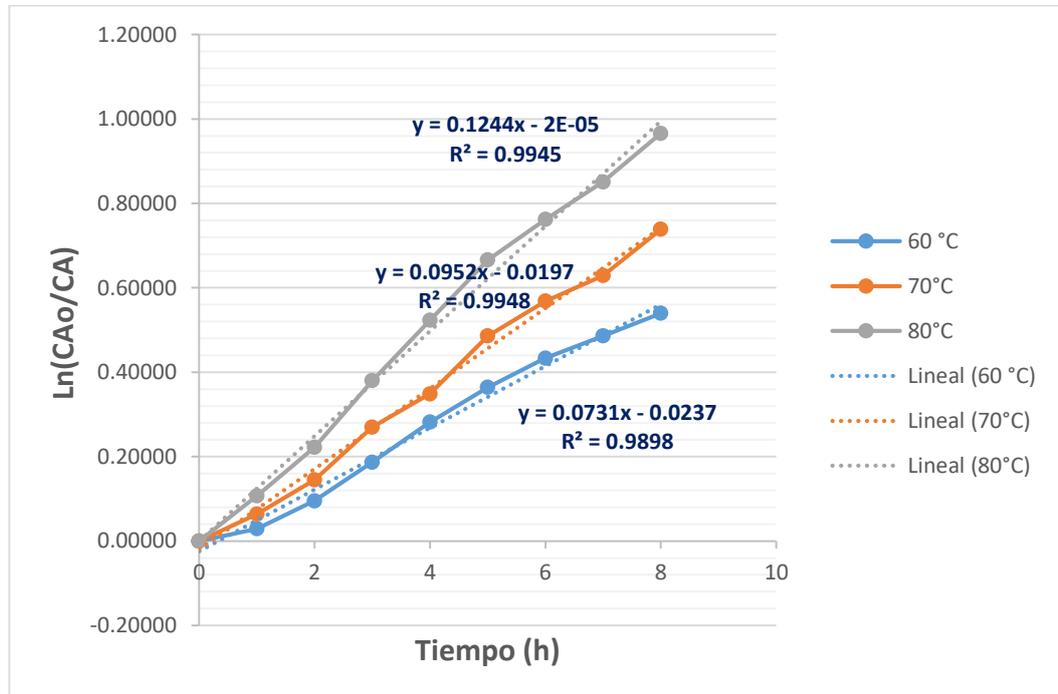


Figura 18. La degradación térmica de ácido ascórbico en frutos de aguaymanto responde a una cinética de degradación de primer orden tal como se evidencia en los coeficientes de regresión mayores de 0.98.

Tabla 11

Valores obtenidos de k experimentales para determinar la energía de activación de la cinética de degradación térmica de ácido ascórbico en el aguaymanto durante el proceso de deshidratación: Ecuación de Arrhenius

$1/T$ (K^{-1})	$\ln k$
0.00300	-2.61590
0.00290	-2.35180
0.0028	-2.0843

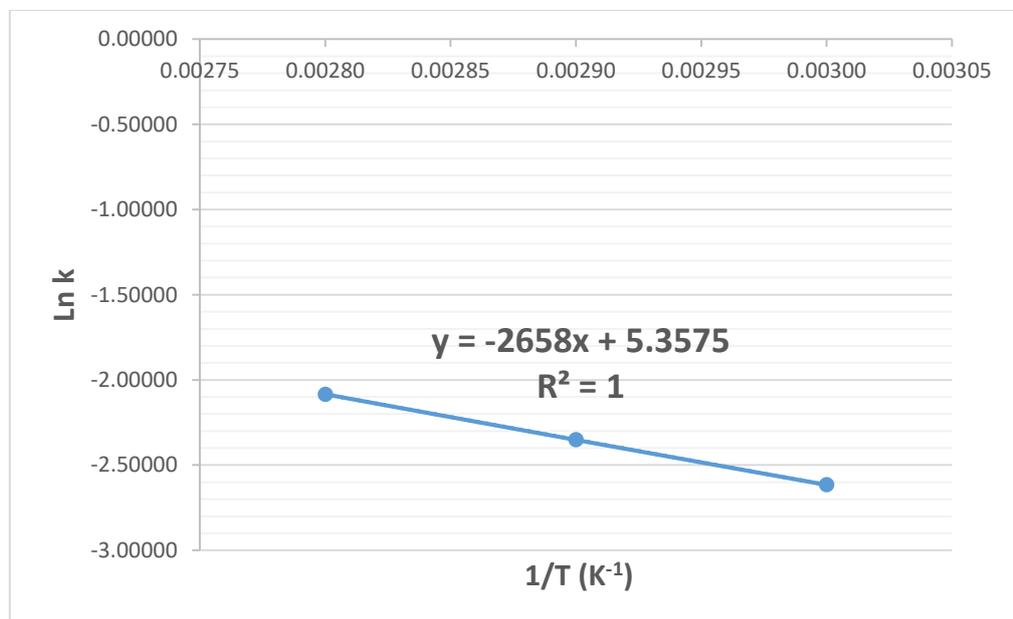


Figura 19. Parámetros de la ecuación de Arrhenius para la degradación de ácido ascórbico en frutos de aguaymanto.

La cinética de degradación térmica de ácido ascórbico durante el proceso de deshidratación es de primer orden.

Tabla 12

Parámetros cinéticos de la degradación de ácido ascórbico durante la deshidratación térmica de aguaymanto.

T (°C)	k (h⁻¹)	R²	A	E_a (cal/mol)
60	- 0.0731	0.989		
70	- 0.0952	0.994	212.19	5281.45
80	- 0.1244	0.994		

Para procesar los datos experimentales se ha utilizado el programa Excel.

De acuerdo a los resultados experimentales se concluye que la cinética de degradación de la vitamina C (ácido ascórbico) durante el

Proceso de deshidratación de aguaymanto en su forma de pasas, es una cinética de primer orden para las tres temperaturas investigadas.

CAPITULO VI: DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. Contratación y demostración de la hipótesis con los resultados.

Se cumplido tal como se ha planteado en I hipótesis, se determinado experimentalmente la cinética de degradación del ácido ascórbico cuyos parámetros ajustados para el modelo cinéticos indicados en la ecuación (5).

TABLA 13

Parámetros cinéticos obtenidos experimentalmente

T (°C)	k (h ⁻¹)	R ²	A	E _a (cal/mol)
60	- 0.0731	0.989		
70	- 0.0952	0.994	212.19	5281.45
80	- 0.1244	0.994		

6.2. Contrastación de los resultados con otros estudios similares.

Los resultados de esta investigación contrastados con los resultados de otros investigadores se aproximan el valor de los parámetros cinéticos y, por tanto, se llega a que la cinética de degradación de ácido ascórbico durante la deshidratación de aguaymanto tipo pasas obedece a una cinética de primer orden.

6.3. Responsabilidad ética

El desarrollo de esta investigación se ha realizado con responsabilidad profesional con propio aporte y creatividad. Claro la información tiene carácter público, pero el conocimiento es privado, que permite desarrollar la conciencia tecnológica con responsabilidad.

CONCLUSIONES:

1. Un incremento en la temperatura del proceso de deshidratación, disminuye el tiempo de proceso, pero incrementa la velocidad de degradación del ácido ascórbico. Se encontró que a las condiciones de deshidratación más apropiada son a 60°C por un tiempo de 8 horas. También se encontró que velocidad de aire no influye en la cinética de degradación de aguaymanto tipo pasa, tal como se muestra en la gráfica N° 1.
2. Analizando los resultados cinéticos de degradación de ácido ascórbico es de primer orden, los parámetros cinéticos se reportan en la tabla N° 9.
3. La energía de activación determinada para el ácido ascórbico en la deshidratación de aguaymanto pasa es 5281.45 cal/mol, energía necesaria para iniciar la degradación del ácido ascórbico.

RECOMENDACIONES

- Para obtener resultados más exactos, se debe trabajar con métodos analíticos modernos como espectrofotometría o cromatografía líquida de alta eficacia o que permitan encontrar resultados más veraces.
- En caso de desarrollar un producto deshidratado bajo proceso térmico se debe realizar análisis sensorial, para determinar las condiciones adecuadas que satisfagan al consumidor y a sus necesidades nutricionales.
- Realizar un estudio de la vida útil del aguaymanto deshidratado, utilizando diferentes envases y a otras condiciones de almacenamiento, determinando si este producto es higroscópico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilera Juarros, C. (2011). *Industria Alimentaria: Manipulación de Alimentos*. Sevilla. Editorial MAD.
- CAHUAPAZA, C y MATOS, A. (2011). Estudio del aguaymanto (*Physalis peruviana* L.) como fuente de Vitamina C. I Congreso Nacional de Investigación. UPeU. Lima.
- Altenhofen Da Silva, M. et al. (2007). Ascorbic Acid Thermal Degradation during Hot Air Drying of Camu-Camu (*Myrciaria dubia* [H.B.K.] McVaugh) Slices at Different Air Temperatures. *Drying Technology: An International Journal*. 23:9-11. 2277-2287.
- AOAC. (2000). Association of Official Analytical Chemists. Official Methods 967.21, ascorbic acid in vitamin preparations and juices. 2, 6-dichloroindophenol titrimetric method.
- Bauerfeind, J. & Pinkert, D. (1974). Ascorbic acid and food technology. In: Johnson, A. and Peterson, M. (eds.). "Encyclopedia of food technology". Volume II. AVI publications. United States.
- Budurlu, H., Koca, N. y karadeniz, F. (2005). Degradation of Vitamin C in Citrus Juice concentrates during storage. En *Journal of Food Engineering*.
- Cahuapaza, C. y Matos, A. (2011). Estudio del aguaymanto (*Physalis peruviana* L.) como fuente de vitamina C. I Congreso Nacional de Investigación UPeU. Lima –Perú.

- Carol Byrd-Bredbenner, Gaile, M., Donna, B. y Jacqueline, B. (2014).
Perspectivas en Nutrición. Novena Edición, Mc Graw Hill. México. P:
471-477, 2014.
- Desrosier, N. (2000). Conservación de alimentos. Compañía Editorial
Continental. México
- CYTED:(2014). Programa iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el
Desarrollo. Uchuva. *Physalis peruviana L.*: Fruta andina para el
Mundo.
- Chirinos, A. (1999). Cinética de Degradación Térmica del Ácido Ascórbico
en la zuma y Crioconcentrado de camu camu. Facultad de ingeniería
en industrias alimentarias. Universidad Nacional del Centro del Perú.
Huancayo. Perú.
- Codex-Alimentarios Comisión. (2001). Norma del Codex para la Uchuva.
Codex Stan 226.
- Goula AM y Adamopoulos GK. (2006) Retention of Ascorbic Acid During
drying of Tomato Halves and Tomato Pulp. *Drying. Technology* 4: 57-
64.
- Gutierrez, T., Paez, M. y Hoyos, O. (2007). Seguimiento de la Degradación
Térmica y Lumínica del Ácido Ascórbico en Uchuva (*Physalis
peruviana L.*). Colombia.
- Herrera, C., Bolaños, N., Lutz, G. (2003). Química de alimentos. Manual de
Laboratorio. Editorial de la Universidad de Costa Rica.
- Jorgensen, C. (2010). A Kinetic Study of the Rate of Degradation of Ascorbic
Acid by Titrimetry. International School of Helsingborg. Sweden.

- Juntamay, E. (2010). Evaluación nutricional de la uvilla (*Physalis peruviana*) deshidratada, a tres temperaturas mediante un deshidratador de bandejas.
- Kaminski, W. & Tomczak, E. (2007). Degradation of ascorbic acid in drying process - a comparison of description methods. *Drying Technology: An International Journal*. 18:3. 777-790.
- Matos-Chamorro, *et al.* (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*.
- Nicoletti, J. *et al.* (2007). Influence of Drying Conditions on Ascorbic Acid during Convective Drying of Whole Persimmons, *Drying Technology: An International Journal*, 25:5, 891-899.
- Ramadan MF. (2011). Bioactive phytochemicals, nutritional value, and functional properties of Cape gooseberry (*Physalis peruviana*). An Overview. *Food Research International* 44, 1830-1836.
- Repo, R.; Encina. (2008). Determinación de la capacidad antioxidante y compuestos bioactivos de frutas nativas peruanas. *Rev. Soc. Quim.* Abr./jun; Vol. 74, no 2. P 108 – 124. Lima. Peru.
- Ordoñez, E., Ospina, R. (2013). Cinética de degradación Térmica de Vitamina C en frutos de Guayaba (*Psidiumguajaba L.*). Universidad Lasallista. *Revista Lasallista de Investigación*. Corporación Antioquia, Colombia.

Uddin MS, Hawlader MNA, Zhou L. (2001). Kinetics of Ascorbic Acid Degradation in Dried Kiwifruit during Storage. *Dry. Tech.* 19 (2): 437-446.

Uddin MS, Hawlader MN, Ding L. y Mujumdar, AS. (2002). Degradation of Ascorbic Acid in Dried Guava during Storage. *J. Food. Eng.* 51: 21-26.

ANEXOS

Anexo N° 1
MATRIZ DE CONSISTENCIA

CINETICA DE LA DEGRADACION DEL ACIDO ASCORBICO DURANTE LA DESHIDRATACION DE AGUAYMANTO (*Physalis peruviana* L.).

TIPO DE INVESTIGACIÓN: Aplicada

NIVEL DE INVESTIGACIÓN: Experimental

DISEÑO: Experimental

FORMULACION DEL PROBLEMA	MARCO TEORICO	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	INDICADORES	METODOS O TECNICAS
P. GENERAL		O. GENERAL	H. GENERAL	V. DEPENDIENTE		
¿Cómo determinar experimentalmente la cinética de la degradación del ácido ascórbico durante la deshidratación de aguaymanto (<i>Physalis peruviana</i> L)?	Definiciones: Ácido ascórbico (AA). Reacción química. Cinética de degradación de AA Velocidad de degradación	Determinar experimentalmente la cinética de la degradación del ácido ascórbico durante la deshidratación de aguaymanto (<i>Physalis peruviana</i> L)	Es posible determinar experimentalmente la cinética de la degradación de ácido ascórbico durante la deshidratación de aguaymanto (<i>Physalis peruviana</i> L).	Y: Determinar experimentalmente la cinética de la degradación de ácido ascórbico durante la deshidratación de aguaymanto (<i>Physalis peruviana</i> L).	Moles por segundo. Miligramos/100 g	Químico: Titulación Método experimental correlacional $Y = f(X_1, X_2, X_3)$.
P. ESPECIFICOS		O. ESPECIFICOS	H. ESPECIFICA	V. INDEPENDIENTE	INDICADORES	METODOS O TECNICAS
¿Cómo determinar el orden de la reacción de degradación de ácido ascórbico durante la deshidratación de aguaymanto?	Parámetros cinéticos Métodos de evaluación Efecto de la temperatura	Determinar el orden de la reacción de degradación de ácido ascórbico durante la deshidratación de aguaymanto	Es posible determinar el orden de la reacción de degradación de ácido ascórbico durante la deshidratación de aguaymanto.	X1: Orden de la reacción de degradación de AA	0: orden cero 1: orden 1 2: orden 2	Método experimental por ajuste lineal Ploteo lineal entre constante de velocidad y la inversa de la temperatura absoluta
¿Cómo determinar los parámetros cinéticos de degradación del ácido ascórbico durante la deshidratación de aguaymanto?	Ecuación de Arrhenius Análisis de datos experimentales. Tratamiento de datos experimentales	Determinar los parámetros cinéticos de degradación del ácido ascórbico durante la deshidratación de aguaymanto	Es posible determinar los parámetros cinéticos de degradación del ácido ascórbico durante la deshidratación de aguaymanto.	X2: Parámetros cinéticos.	(Seg.) ⁻¹ [AA] ¹⁻ⁿ Kj /mol	Uso de software. Excel
¿Cómo determinar a qué temperatura ocurre la menor degradación del ácido ascórbico durante la deshidratación de aguaymanto?	Graficas de correlación Modelos matemáticos y/o software adecuados	Determinar a qué temperatura ocurre la menor degradación del ácido ascórbico durante la deshidratación de aguaymanto	Es posible determinar a qué temperatura ocurre la menor degradación del ácido ascórbico durante la deshidratación de aguaymanto.	X3: Temperatura de deshidratación.	K_0 $1/T, K^{-1}$	

ANEXO N° 2

Procedimiento de cálculo:

Datos:

Peso de fruta fresca: 10 g

Zumo extraído: 5 ml + 10 ml de ácido oxálico al 0.4% = 15 ml

Muestra a titular: 2 ml de zumo

Gasto de DCFIF. 7.2 ml

Titulación del estándar de ácido ascórbico (AA) es:

2ml de solución de AA + 10 ml de ácido oxálico al 0.4%

Gasto de sol. DCFIF: 23.1 ml.

$(10 \text{ g} \times 2 \text{ ml}) / 15 \text{ ml} = 1.33 \text{ g}.$

Si "mg de AA/ 23.1 ml de DCFIF = 0.08658 mg de AA/ ml DCFIF

=. $(0.08658 \text{ mg de AA} \times 7.2 \text{ ml} \times 100) / (1.33 \text{ g})$

= 45.2 mg de AA/ 100 g de muestra.

Para las otras muestras se sigue el mismo procedimiento. Y los valores respectivos se reporta en la Tabla N° 6, página, 28..