

UNIVERSIDAD NACIONAL JOSÉ MARÍA ARGUEDAS
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AGROINDUSTRIAL



Presentado por

Br. BEATRÍZ DAMIANO VÁSQUEZ

**INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN LA VELOCIDAD
DE REACCIÓN DE DEGRADACIÓN DEL ÁCIDO
ASCÓRBICO Y B-CAROTENO DURANTE EL SECADO
CONVECTIVO DEL AGUAYMANTO (*Physalis Peruviana*
L.) CULTIVADO EN LA UNIDAD VECINAL DE
CHUMBIBAMBA**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

ANDAHUAYLAS – APURÍMAC – PERÚ

2019

UNIVERSIDAD NACIONAL JOSÉ MARÍA ARGUEDAS
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AGROINDUSTRIAL



Presentado por

Br. BEATRÍZ DAMIANO VÁSQUEZ

**INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN LA VELOCIDAD
DE REACCIÓN DE DEGRADACIÓN DEL ÁCIDO
ASCÓRBICO Y B-CAROTENO DURANTE EL SECADO
CONVECTIVO DEL AGUAYMANTO (*Physalis Peruviana*
L.) CULTIVADO EN LA UNIDAD VECINAL DE
CHUMBIBAMBA**

Asesor:

Ing. Mg. FREDY TAIPE PARDO

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

ANDAHUAYLAS – APURÍMAC – PERÚ

2019



APROBACION DEL ASESOR

Quién suscribe:
ING. FREDY TAIPE PARDO por la presente:

CERTIFICA,

Que, la Bachiller en Ingeniería, BEATRIZ DAMIANO VASQUEZ ha culminado satisfactoriamente el Proyecto de Tesis titulado: "INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN LA VELOCIDAD DE REACCIÓN DE DEGRADACIÓN DEL ÁCIDO ASCÓRBICO Y β -CAROTENO DURANTE EL SECADO CONVECTIVO DEL AGUAYMANTO (*Physalis Peruviana* L.) CULTIVADO EN LA UNIDAD VECINAL DE CHUMBIBAMBA" para optar el Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial

Andahuaylas, 12 de diciembre de 2019

Mg. Fredy Taipe Pardo
Asesor

Br. Beatriz Damiano Vásquez
Tesista



DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD

Yo, **Beatríz Damiano Vásquez** identificada con DNI N° 47665624 de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial.

Declaro bajo juramento que la tesis titulada: Influencia de la temperatura en la velocidad de reacción de degradación del ácido ascórbico y β -caroteno durante el secado convectivo del aguaymanto (*Physalis Peruviana L.*) cultivado en la unidad vecinal de Chumbibamba.

Es auténtico y no vulnera los derechos de autor. Además, su contenido es de mi entera responsabilidad, quedando la UNAJMA exenta de toda responsabilidad en caso de atentar contra la Ley de propiedad intelectual y derechos de autor.

Andahuaylas, 12 de diciembre de 2019

Firma

N° DNI: 47665624

E-mail: rous_28_7@hotmail.com

N° Celular: 968587429



APROBACION DEL JURADO EVALUADOR

LA TESIS: "INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN LA VELOCIDAD DE REACCIÓN DE DEGRADACIÓN DEL ÁCIDO ASCÓRBICO Y β -CAROTENO DURANTE EL SECADO CONVECTIVO DEL AGUAYMANTO (*Physalis Peruviana L.*) CULTIVADO EN LA UNIDAD VECINAL DE CHUMBIBAMBA" para optar el Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial, ha sido evaluada por el Jurado Dictaminador conformado por:

PRESIDENTE: Ing. MSc. Fidelia Tapia Tadeo

PRIMER MIEMBRO: Ing. MSc. Carlos Alberto Ligarda Samanez

SEGUNDO MIEMBRO: Ing. MSc. David Choque Quispe

Habiendo sido aprobado por UNANIMIDAD/MAYORIA, en la ciudad de Andahuaylas el día 09 de diciembre de 2019.

Andahuaylas, 12 de diciembre de 2019

Ing. MSc. Fidelia Tapia Tadeo
Presidente Jurado Evaluador

Ing. MSc. Carlos Alberto Ligarda Samanez
Primer Miembro Jurado Evaluador

Ing. MSc. David Choque Quispe
Segundo Miembro Jurado Evaluador



FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

ACTA DE SUSTENTACION
DE TESIS

En la Av. 28 de julio N° 1103 del Local Académico SL02 (Santa Rosa) en el Salón de Grados de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional José María Arguedas ubicado en el distrito de Talavera de la Reyna de la Provincia de Andahuaylas, siendo las 16:00 horas del día lunes 9 de diciembre del año 2019, se reunieron los docentes: MSc. Fidelia Tapia Tadeo, MSc. Carlos Alberto Ligarda Samanez, MSc. David Choque Quispe, en condición de integrantes del Jurado Evaluador del Informe Final de Tesis intitulado: "INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN LA VELOCIDAD DE REACCIÓN DE DEGRADACIÓN DEL ÁCIDO ASCÓRBICO Y β -CAROTENO DURANTE EL SECADO CONVECTIVO DEL AGUAYMANTO (*PHYSALIS PERUVIANA L.*) CULTIVADA EN LA UNIDAD VECINAL DE CHUMBIBAMBA", cuyo autora es la Bachiller en Ingeniería Agroindustrial **BEATRÍZ DAMIANO VÁSQUEZ**, el asesor Mg. Fredy Taipe Pardo con el propósito de proceder a la sustentación y defensa de dicha tesis.

Luego de la sustentación y defensa de la tesis, el Jurado Evaluador **ACORDÓ: APROBAR** por **UNANIMIDAD** a la Bachiller en Ingeniería Agroindustrial **BEATRÍZ DAMIANO VÁSQUEZ**, obteniendo la siguiente calificación y mención:

Nota escala vigesimal		Mención
Números	Letras	
17	Diezsiete	MUY BUENO

En señal de conformidad, se procedió a la firma de la presente acta en 03 ejemplares.

MSc. Fidelia Tapia Tadeo
Presidente del Jurado Evaluador

MSc. Carlos Alberto Ligarda Samanez
Primer Miembro del Jurado Evaluador

MSc. David Choque Quispe
Segundo Miembro del Jurado Evaluador

Dedicatoria

A mis queridos padres Juanita Vásquez Vargas y Paulino Damiano Oscoco, por el amor y confianza, que me brindan.

A mis hermanas: Miriam, Erika, Oddulia y Liz, gracias por enseñarme y cuidar de mí.

A mis sobrinas(os): Joscelyn, Guilianna, Thiago y Jhamito, por alegrarme el día con sus travesuras, sobre todo por mostrarme esa sonrisa y abrazo sincero.

Beatríz D.

*“En igualdad de condiciones, la explicación más sencilla suele ser la
más probable”*

Guillermo de Ockham

Agradecimiento

A toda mi familia, amigas(os): Rossana, Laura, Fely, Raquel, Delo y Abel Barrial, por el apoyo moral que me brindaron en el desarrollo de esta tesis.

A mi asesor Fredy Taipe Pardo, por dirigir esta tesis, por su tiempo, conocimiento y sobre todo por su infinita paciencia.

A mis Jurados: MSc. David Choque Quispe, MSc. Carlos Ligarda Samanez y MSc. Fidelia Tapia Tadeo, por compartir sus conocimientos y experiencias profesionales en mi formación académica, profesional. Os tengo admiración y espero seguir sus pasos.

A todos mis docentes de la Escuela Profesional De Ingeniería Agroindustrial, por sus enseñanzas.

A la Universidad José María Arguedas por el cofinanciamiento de esta tesis, que sin su ayuda quizá no hubiese podido realizar este sueño.

A mis compañeros de la universidad: Wilber, José, Juan Erasmo, Diana, Diego, Elibet, Yaneth Palomino, Yaneth Ccoicca, Silvia, Froilán, Olimpio, Nancy, Nélida, Alejandro, Abel Alvarez, Antonio (Loco), Odaly y Carmen, por permitirme conocerlos y compartir experiencias en nuestra etapa universitaria.

Índice

RESUMEN	XVI
ABSTRACT	XVII
CHUMASQA.....	XVIII
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	3
1.1 Problema general	4
CAPITULO II: ANTECEDENTES	5
2.1 Internacionales	5
2.2. Nacionales	6
2.3. Locales.....	6
CAPITULO III: MARCO TEÓRICO.....	8
3.1 Aguaymanto (<i>Physalis peruviana</i> L.)	8
3.1.1 Descripción del aguaymanto	8
3.1.2 Clasificación taxonómica del aguaymanto.....	10
3.1.3 Fenología del aguaymanto	10
3.1.4 Condiciones climáticas de crecimiento del aguaymanto	12
3.1.5 Propiedades fisicoquímicas del aguaymanto	12
3.1.6 Composición química del aguaymanto.....	12
3.1.8 Beneficios para la salud de los extractos del aguaymanto	15
3.1.9 Producción y comercialización de aguaymanto en el Perú	15
3.1.10 Investigaciones sobre el aguaymanto (<i>Physalis peruviana</i> L.)	16
3.2 Ácido ascórbico	17
3.2.1 Estructura del ácido ascórbico	18
3.2.5 Degradación del ácido ascórbico	18
3.2.2 Contenido de AA en los alimentos.....	19
3.3 β -caroteno.....	20
3.3.1 Estructura química del β -caroteno.....	20
3.3.2 Fuentes dietéticas del β – caroteno.....	21
3.3.3 Degradación del β -caroteno y ácido ascórbico en los alimentos	22
3.4 Cinética de deterioro de la calidad de alimentos.....	23
3.5 Modelado cinético	23
3.6 Velocidad de reacción.....	23
3.6.1 Orden de reacción.....	24
3.6.2 Variación de la concentración con el tiempo para reacciones elementales.....	24

3.7	Deshidratación.....	28
3.8	Secado.....	29
CAPITULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN		31
4.1	Lugar de ejecución	31
4.2	Materiales, equipos y reactivos.....	31
4.2.1	Materiales.....	31
4.2.2	Equipos	32
4.2.3	Reactivos.....	32
4.2.4	Material vegetal	33
4.3	Material de estudio	33
4.4	Tipo de investigación	33
4.5	Diseño de contrastación	33
4.6	Metodología experimental.....	34
4.6.1	Procedimiento de secado del aguaymanto.....	34
4.6.2	Determinación de humedad	36
4.6.3	Determinación de solidos solubles	36
4.6.4	Determinación de acidez.....	36
4.6.5	Determinación de pH.....	36
4.6.6	Determinación de ácido ascórbico.....	36
4.6.7	Determinación de β -caroteno	37
4.6.8	Determinación de la velocidad de reacción	37
4.7	Análisis estadístico	38
4.7.1	Análisis de varianza para el diseño completamente al azar para la velocidad de reacción de degradación del ácido ascórbico y β -caroteno	39
4.7.2	Prueba LSD o Fisher para la velocidad de reacción de degradación del ácido ascórbico y β -caroteno	41
4.7.3	Para el orden de velocidad de reacción de degradación de ácido ascórbico y β -caroteno.....	42
CAPITULO V: RESULTADOS Y DISCUSIONES		43
5.1	Determinación de las propiedades fisicoquímicos de fruto de aguaymanto fresco.....	43
5.2	Determinación del ácido ascórbico y β -caroteno en muestras frescas de aguaymanto cultivadas en la unidad vecinal de Chumbibamba.....	45
5.3	Determinación de la cinética de degradación del ácido ascórbico en el aguaymanto cultivado en la unidad vecinal de Chumbibamba	47
5.5.1	Determinación del orden de reacción de degradación del ácido ascórbico en el secado del aguaymanto	49

5.5.2	Determinación de los parámetros cinéticos	52
5.5.3	Cálculo de la energía de activación de degradación del ácido ascórbico frente a la temperatura	53
5.6	Determinación de la velocidad de reacción de degradación del ácido ascórbico.....	55
5.7	Determinación de la cinética de degradación del β -caroteno durante el secado del aguaymanto cultivado en la unidad vecinal de Chumbibamba.....	56
5.7.2	Determinación de los parámetros cinéticos	60
5.7.3	Determinación de la energía de activación de degradación del β -caroteno.....	61
5.8	Determinación de la velocidad de reacción de degradación del β -caroteno...	63
	CONCLUSIONES.....	65
	RECOMENDACIONES	66
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67
	ANEXO.....	75

Índice de tablas

Tabla 1. Etapas de crecimiento del aguaymanto.....	10
Tabla 2. Propiedades fisicoquímicas del aguaymanto.....	12
Tabla 3. Composición química en 100 g de pulpa de aguaymanto.	13
Tabla 4. Contenido de compuestos bioactivos del 100 g de aguaymanto.	14
Tabla 5. Producción de aguaymanto en el periodo 2014-2016.	15
Tabla 6. Contenido de ácido ascórbico en 100 gramos de alimentos más comunes.	19
Tabla 7. Contenido de β -caroteno en verduras y frutos.....	22
Tabla 8. Materiales de laboratorio.....	31
Tabla 9. Equipos de laboratorio.	32
Tabla 10. Reactivos.	32
Tabla 11. Matriz de diseño para el secado del aguaymanto.	34
Tabla 12. Ajuste para el orden de velocidad de reacción.	37
Tabla 13. Diseño completamente al azar.	38
Tabla 14. ANOVA para el diseño DCA.	40
Tabla 15. Propiedades fisicoquímicas del aguaymanto cultivada en la unidad vecinal de Chumbibamba.	43
Tabla 16. Contenido de ácido ascórbico y β -caroteno.	45
Tabla 17. Criterios de bondad de ajuste de los diferentes modelos.	52
Tabla 18. Parámetros cinéticos estimados de la cinética de degradación del ácido ascórbico.	52
Tabla 19. Constantes de la ecuación de Arrhenius.	53
Tabla 20. Velocidad de reacción de degradación del ácido ascórbico.	55
Tabla 21. ANOVA para velocidad de reacción de degradación del ácido ascórbico.	56
Tabla 22. Criterios de bondad de ajuste de los diferentes modelos.	60
Tabla 23. Parámetros cinéticos estimados de la cinética de degradación del ácido ascórbico.	60
Tabla 24. Constantes de la ecuación de Arrhenius.	62
Tabla 25. Velocidad de reacción de degradación del β -caroteno.....	63
Tabla 26. Tabla ANOVA para velocidad de reacción de degradación del del β - caroteno.	63
Tabla 27. Calibre del aguaymanto según la NTC 4580.....	78
Tabla 28. Concentración del ácido ascórbico por triplicado.	82
Tabla 29. Concentración del β -caroteno por triplicado.	84
Tabla 30. Datos empleados para determinar las velocidades de reacción.....	86

Índice de figuras

Figura 1. Fruto de aguaymanto maduros.	8
Figura 2. Estructura interna del fruto del aguaymanto.....	9
Figura 3. Etapas fenológicas de <i>Physalis peruviana L.</i> según la escala BBCH. .	11
Figura 4. Evolución de compuestos bioactivos.	14
Figura 5. Publicaciones sobre <i>Physalis peruviana L.</i>	17
Figura 6. Estructura del L-ácido ascórbico.	18
Figura 7. Estructura bicíclica del β -caroteno	21
Figura 8 . Diagrama de bloque para el secado de aguaymanto.	36
Figura 9. Grafica de $\ln k$ en función $1/T$ absoluta.....	38
Figura 10. Evolución de la concentración del ácido ascórbico durante el secado a 40, 50 y 60 °C.	47
Figura 11. Ajuste lineal de orden 0 de la concentración de AA observados.	49
Figura 12. Ajuste lineal de orden 1 de la concentración de AA.	50
Figura 13. Ajuste lineal de orden 2 de la concentración de AA observados.	50
Figura 14. Gráfica de Arrhenius	53
Figura 15. Evolución de la concentración del β -caroteno durante el secado a 40, 50 y 60 °C.....	58
Figura 16. Ajuste lineal de orden 0 de la concentración de β -caroteno.	58
Figura 17. Ajuste lineal de orden 0 de la concentración de β -caroteno.	59
Figura 18. Ajuste lineal de orden 0 de la concentración de β -caroteno.	59
Figura 19. grafica de Arrhenius para determinar la energía de activación de degradación del β -caroteno	61
Figura 20. Mapa de localización del Instituto Nacional de Innovación Agraria sede Chumbibamba.	75
Figura 21. Selección de las muestras de aguaymanto.....	76
Figura 22. Clasificación de las muestras de aguaymanto.	76
Figura 23. Embandejamiento de las muestras de aguaymanto.....	76
Figura 24. Separación de las fases para la determinación del β -caroteno.	77
Figura 25. Filtración de la solución del aguaymanto en ácido oxálico.	77
Figura 26. Introducción de la muestra a la estufa secador.	77
Figura 27. Clasificación del aguaymanto por el color de fruto según la NTC 4580.78	
Figura 28. Media y 95 % de Fisher LSD	87
Figura 29. Media y 95 % LSD.	88
Figura 31. Degradación del β -caroteno en el secado del aguaymanto durante 30 h.	89

Índice de anexos

Anexo 1. Ubicación geográfica del INIA-Chumbibamba.....	75
Anexo 2. Fotográficas de la determinación de la determinación de ácido ascórbico y β -caroteno.	76
Anexo 3: Extractos de la Norma Técnica Colombiana 4580.	78
Anexo 4: Metodología para la determinación de ácido ascórbico.....	79
Anexo 5: Metodología para la determinación de β -caroteno	81
Anexo 6: <i>Valores experimentales de ácido ascórbico en el secado del aguaymanto</i>	82
Anexo 7: Valores experimentales de β -caroteno en el secado del aguaymanto.....	84
Anexo 8: Datos empleados para el cálculo de la velocidad de reacción de degradación del ácido ascórbico y β -caroteno	86
Anexo 9. Pruebas de Múltiple Rangos para la velocidad de reacción de degradación del ácido ascórbico por tratamiento.	87
Anexo 10. Pruebas de Múltiple Rangos para la velocidad de reacción del β -caroteno por Tratamiento.	88
Anexo 11. Predicción de la degradación de los compuestos estudiados.	89

Abreviaturas y símbolos

\bar{S}	: Desviación estándar
\bar{X}	: Media
γ_i	: Efecto del tratamiento con su nivel i.
ε_{ik}	: Error aleatorio
AA	: Ácido ascórbico
Abs	: Absorbancia de la muestra
ANOVA	: Análisis de varianza (Analysis of variance)
b.h.	: Base húmeda.
BBCH	: Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt und Chemische Industrie
cm	: Centímetro
DCA	: Diseño completamente al azar
EMC	: Error medio cuadrático
g	: Gramo
H _A	: Hipótesis alternativa
H ₀	: Hipótesis nula
ICONTEC	: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación
k	: Constante de velocidad de reacción de degradación
kg	: Kilogramo
l	: Litro
LSD	: Mínima diferencia significativa (Least significant difference)
m.s.n.m.	: Metros sobre el nivel del mar
m ³	: Metro cúbico
ml	: Mililitro
mm	: Milímetro
mmol	: Milimol
nm	: Nanómetro
NTC	: Norma Técnica Colombia
°C	: Grados celsius
OMS	: Organización Mundial de la Salud
pH	: Potencial de hidrogeniones
R	: Constante universal de gases
R ²	: Coeficiente de correlación
SIEA	: Sistema Integrado de Estadísticas Agrarias
T	: Temperatura Absoluta

Tm : Toneladas métricas
UV : Ultravioleta visible
V : Volumen
 μ : Media general

Resumen

El aguaymanto (*Physalis peruviana L*) es un fruto con alto contenido en ácido ascórbico y β -caroteno que es consumido en fresco y deshidratado, esta investigación tiene por objetivo evaluar la influencia de la temperatura en la velocidad de reacción de degradación del ácido ascórbico y β -caroteno durante el secado convectivo del aguaymanto cultivada en la unidad vecinal de Chumbibamba del distrito Talavera provincia de Andahuaylas del departamento de Apurímac. Las variables independientes fueron las temperaturas de secado 40, 50 y 60 °C. La concentración del ácido ascórbico y β -caroteno se determinó por espectrofotometría UV-visible, para el ácido ascórbico se utilizó el colorante 2,6-Diclorofenolindofenol, se emplearon solventes orgánicos como: la acetona y etanol (1:1) para la lixiviación del β -caroteno. el diseño estadístico correspondió a una DCA, el cual se evaluó con un ANOVA de un factor, así mismo se aplicó la prueba de rangos múltiples LSD. La cinética de degradación del ácido ascórbico y el β -caroteno durante el secado a 40, 50 y 60 °C fue de orden uno, las velocidades de reacción de degradación del ácido ascórbico a 40, 50 y 60 °C fueron 0.07949 ± 0.00093 , 0.14644 ± 0.00128 , 0.26008 ± 0.00155 $\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ respectivamente las cuales mostraron diferencia significativa (p -value <0.05) y para el β -caroteno fue 0.00144 ± 0.00002 (40 °C), 0.00287 ± 0.00003 (50 °C) y 0.00550 ± 0.00003 (60 °C) $\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$, mostrando diferencia significativa (p <0.05). El rango de las constantes de velocidad de reacción de degradación para el ácido ascórbico y el β -caroteno fueron $0.02190 - 0.07230$ h^{-1} , $0.02400 - 0.08000$ h^{-1} respectivamente, mientras que la energía de activación para el ácido ascórbico fue 55.41226 ± 0.25211 kJ/mol y para el β -caroteno 58.15918 ± 0.58215 kJ/mol.

Palabras clave: *Velocidad de reacción, energía de activación y degradación cinética*

Abstract

Aguaymanto (*Physalis peruviana L*) is a fruit with a high content of ascorbic acid and β -carotene that is consumed fresh and dehydrated, this research aims to determine the influence of temperature on the degradation reaction rate of ascorbic acid and β -carotene during convective drying of aguaymanto cultivated in the Chumbibamba place unit of the Talavera district, Andahuaylas province of the Apurimac department.

The independent variables were drying temperatures 40, 50 and 60 ° C. The concentration of ascorbic acid and β -carotene was determined by UV-visible spectrophotometry, for the ascorbic acid the dye 2,6-Dichlorophenolindophenol was used, which is reduced by the effect of the ascorbic acid solution and organic solvents were used as: acetone and ethanol (1: 1) for leaching of β -carotene.

For the statistical analysis of data, a completely randomized DCA design was used, the evaluation was carried out by applying the one-way ANOVA and the LSD multiple range test. The degradation kinetics of ascorbic acid and β -carotene during drying at 40, 50 and 60 ° C is of order one, the degradation reaction rates of ascorbic acid at 40, 50 and 60 ° C were 0.07949 ± 0.00093 , 0.14644 ± 0.00128 , 0.26008 ± 0.00155 $\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ respectively which showed significant differences (p -value <0.05) and for β -carotene it was 0.00144 ± 0.00002 (40 °C), 0.00287 ± 0.00003 (50 °C) and 0.00550 ± 0.00003 (60 °C) $\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$, which also showing significant differences ($p <0.05$). The range of degradation reaction rate constants for ascorbic acid and β -carotene were $0.02190 - 0.07230 \text{ h}^{-1}$, $0.02400 - 0.08000 \text{ h}^{-1}$ respectively, while the activation energy for ascorbic acid was 55.41226 ± 0.25211 kJ / mol and for β -carotene, it was $58,15918 \pm 0.58215$ kJ/mol .

Keywords: *Drying of aguaymanto, ascorbic acid and β -carotene.*

Chumasqa

Awaymantuqa (*Physalis peruviana L*) huk miski rurunkan ancha achkan tarikun chay rurupi vitamina c-nisqa hinallataq qaranpas qilluyarin qillmumanhina, chaymi mikuchwan chayllaraq pallasqata utaq chakichisqatapas, Kay llamkay taqwiriymi qatipaspa riqsichiyta munan imaynatam rupay rurunpa sumunpi tarikun ácido ascórbiconisqata hinaspa β -carotenonisqa kaqkuna, quñirichiptin chaylla ismupakuyta qallarín, kay rurukunatam ruruchinku chumbibamba ayllupi, Talavera llaqtapi, antawayllas, apurimaq suyupi. Chullachasqa qatipayta maskakurqa Chakichiypi quñiriyinta 40, 50 y 60 °C. rupaypi, chay ácido ascórbiconisqa chaynataq β -carotenonisqa qawachisqa karqa chay espectrofotométrianisqan qawan UV-rikurichiq hinamantaq chay ácido ascórbiconisqapaq llimpichakuynin 2,6-Diclorofenolindofenolnisqawan, chaymantam rurakurqataq mana hukmanyachik chuymakunata. chay: acetonanisqawan chaynataq etanolnisqawan (1:1) urqukurqa chay β -carotenonisqa lixiviaciónpa chawpinta yupaykuna huqarikusqanmanhina karqa chay DCAnisqawan, chaymi qatipasqa karqa hinaspa tupusqa chay ANOVAnisqawan chaymaytapas rurakurqa chay LSD ruraykunawan.

kuyukachayninta qawakurqa chay ácido ascórbiconisqapi hinataq β -carotenonisqapi karqa chakichisqa quñiriyipi 40, 50 hinaspa 60 °C rupaypi puntakaqpi chaynataq quñirimuynin huqarikamurqa chay 40, 50 hinaspa 60 °C rupaypi, hinaspa rikukurqa 0.07949 ± 0.00093 , 0.14644 ± 0.00128 , 0.26008 ± 0.00155 mmol·l⁻¹·h⁻¹ qawachikurqa hukmanyayninta (p-value < 0.05) chaynataq β -carotenonisqa karqa 0.00144 ± 0.00002 (40 °C), 0.00287 ± 0.00003 (50 °C) y 0.00550 ± 0.00003 (60 °C) mmol·l⁻¹·h⁻¹, anchata qawachikurqa hukmanyayninta (p < 0.05). chaynataq chay ácido ascórbiconisqa hinaspa β -carotenonisqa qawachikurqa hukmanyayninta, nisyutam uqarikun quñiriyin rupaypi ismunanpaq chay 0.02190 - 0.07230 h⁻¹, 0.02400 - 0.08000 h⁻¹ rikukusqanmanhina, rupaypa kallpachayninmi chay ácido ascórbiconisqapaq karqa 55.41226 ± 0.25211 kJ/mol hinaspa chay β -carotenonisqa 58.15918 ± 0.58215 kJ/mol.

Pisiy rimayllapi riksichiy: hukmanyaynin, i rupapakuynin hinaspa chapukuspa kuyukachaynin.

INTRODUCCIÓN

El ácido ascórbico es un nutriente esencial ampliamente distribuido en las especies vegetales de la base alimenticia, el ácido L-ascórbico y su forma oxidada (ácido dehidroascórbico) conforman la vitamina C mientras el β -caroteno es una provitamina A.

El aguaymanto (*Physalis peruviana L.*) es considerado como una fuente potencial de ácido ascórbico, β -caroteno, minerales, fósforo y complejo de vitamina B; contiene un 15 % de sólidos solubles y su alto contenido de fructuosa es atractivo para diabéticos.

El ácido ascórbico es soluble en agua y se encuentra en la savia celular mientras el β -caroteno es soluble en lípidos que está unido a la membrana celular depositados en gotas de lípidos de los cromoplastos. Por ello, se esperaría que ambos compuestos tengan un comportamiento diferente.

El objetivo principal de esta investigación fue evaluar la influencia de la temperatura en la velocidad de reacción de degradación del ácido ascórbico y β -caroteno durante el secado convectivo del aguaymanto (*Physalis peruviana L.*) cultivada en la unidad vecinal de Chumbibamba.

Se tuvieron como objetivos específicos:

- Evaluar la influencia de la temperatura en la velocidad de reacción de degradación del ácido ascórbico durante el secado convectivo del aguaymanto (*Physalis peruviana L.*) cultivada en la unidad vecinal de Chumbibamba.
- Evaluar la influencia de la temperatura en la velocidad de reacción de degradación del β -caroteno durante el secado convectivo del aguaymanto (*Physalis peruviana L.*) cultivada en la unidad vecinal de Chumbibamba.
- Determinar el orden de la velocidad de reacción de degradación del ácido ascórbico durante el secado convectivo del aguaymanto (*Physalis peruviana L.*) cultivada en la unidad vecinal de Chumbibamba.
- Determinar el orden de la velocidad de reacción de degradación del β -caroteno durante el secado convectivo del aguaymanto (*Physalis peruviana L.*) cultivada en la unidad vecinal de Chumbibamba.
- Estimar la energía de activación de degradación del ácido ascórbico durante el secado convectivo del aguaymanto (*Physalis peruviana L.*) cultivada en la unidad vecinal de Chumbibamba.

- Estimar la energía de activación de degradación del β -caroteno durante el secado convectivo del aguaymanto (*Physalis peruviana L.*) cultivada en la unidad vecinal de Chumbibamba.

Este trabajo está estructurado en cinco capítulos los cuales explicaremos a continuación:

- ✓ El primer capítulo se expone el problema de la investigación.
- ✓ El segundo capítulo trata de los antecedentes de la investigación, se revisa investigaciones anteriores realizadas sobre la degradación del ácido ascórbico y β -caroteno en el secado del aguaymanto u otros frutos.
- ✓ En el tercer capítulo contiene el marco teórico, los cuales son conceptos de temas tratados en esta investigación, para tener una mejor comprensión del fenómeno estudiado.
- ✓ En cuarto capítulo se detalla las metodologías empleadas para lograr los objetivos planteados, se detallan paso a paso los procedimientos experimentales y estadísticos.
- ✓ Finalmente, en el capítulo cinco se muestran los resultados y se discute los mismos con bibliografías revisadas.

CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

El aguaymanto es un fruto funcional, altamente perecible y con una creciente demanda, en la actualidad se exporta a países como: Holanda, Estados Unidos y Alemania, con una demanda del 30 %, 28.69 % y 14.69 %, respectivamente (Comisión de Promoción del Perú para la Exportación y el Turismo, 2017) existe masificación del consumo de este fruto en el interior del país.

En el Perú, el principal producto de exportación es el aguaymanto deshidratado. Hace algunos años el aguaymanto fue un fruto infravalorado por ser una planta silvestre; sin embargo, las últimas investigaciones realizadas sobre el beneficio del consumo de este fruto incrementaron su demanda, generando oportunidades y retos para los agricultores nacionales que empiezan a dedicarse a este rubro.

La producción de aguaymanto en la provincia de Andahuaylas se incrementó en 22 % entre el 2014 al 2016 (Sierra y Selva Exportadora, 2018), en la unidad vecinal de Chumbibamba el incremento de la producción fue ligera, esto se puede corroborar, debido a que en las ferias dominicales la mayoría de los comerciantes del aguaymanto son de la zona mencionada. La zona de Chumbibamba cuenta con potencial para la producción masiva de este fruto, debido a las condiciones climáticas, geográficas e hidrológicas son favorables sin embargo junto al incremento de la producción del aguaymanto se dio a conocer las dificultades de conservación de este fruto optándose por técnicas de conservación como el secado con finalidades de reducción de volumen, peso, facilidad de transporte y conservación del fruto, concediendo menor interés a la conservación de los nutrientes como es el ácido ascórbico y β -caroteno.

La técnica de secado se emplea como excelente alternativa de conservación y almacenamiento para los agricultores de escasos recursos económicos sin embargo la aplicación eficiente del secado con finalidades de conservar sus propiedades nutricionales está sujeto al nivel del conocimiento, tecnología, mano de obra calificada con el que dispone. La operación de secado no llega a conservar la totalidad de las propiedades nutricionales, la intensidad de la destrucción de estos nutrientes es variante de un compuesto a otro.

En el secado convectivo del aguaymanto, sucede una degradación del ácido ascórbico y β -caroteno, por ello se plantean los objetivos ya antes mencionados, para minimizar las pérdidas de estos nutrientes en el procesamiento del aguaymanto cultivadas en la provincia de Andahuaylas.

1.1 Problema general

¿Cuál es la influencia de la temperatura en la velocidad de reacción de degradación del ácido ascórbico y β -caroteno durante el secado convectivo del Aguaymanto (*Physalis peruviana* L.) cultivada en la unidad vecinal de Chumbibamba?

1.2 Problemas específicos

- ¿Cuál es la influencia de la temperatura en la velocidad de reacción de degradación del ácido ascórbico durante el secado convectivo del Aguaymanto (*Physalis peruviana* L.) cultivada en la unidad vecinal de Chumbibamba?
- ¿Cuál es la influencia de la temperatura en la velocidad de reacción de degradación del β -caroteno durante el secado convectivo del Aguaymanto (*Physalis peruviana* L.) cultivada en la unidad vecinal de Chumbibamba?
- ¿Cuál es orden de la velocidad de reacción de degradación del ácido ascórbico durante el secado convectivo del aguaymanto (*Physalis peruviana* L.) cultivada en la unidad vecinal de Chumbibamba?
- ¿Cuál es orden de la velocidad de reacción de degradación del β -caroteno durante el secado convectivo del aguaymanto (*Physalis peruviana* L.) cultivada en la unidad vecinal de Chumbibamba?
- ¿Cuál es la energía de activación de degradación del ácido ascórbico durante el secado convectivo del aguaymanto (*Physalis peruviana* L.) cultivada en la unidad vecinal de Chumbibamba?
- ¿Cuál es la energía de activación de degradación del β -caroteno durante el secado convectivo del aguaymanto (*Physalis peruviana* L.) cultivada en la unidad vecinal de Chumbibamba?

CAPITULO II: ANTECEDENTES

2.1 Internacionales

Junqueira, Corrêa, de Oliveira, Ivo Soares Avelar, y Salles Pio (2017) en su investigación "Convective drying of cape gooseberry fruits: Effect of pretreatments on kinetics and quality parameters" evaluaron el efecto de tres diferentes pretratamientos (nitrógeno líquido no tratado, congelación lenta y oleato de etilo) en el secado del aguaymanto, encontrándose que la cinética de secado fue influenciada por el pretratamiento. Se obtuvo un tiempo de secado menor con mayor retención de ácido ascórbico para las muestras con pretratamiento de oleato de etilo para eliminar la cera que recubre del aguaymanto.

Demiray y Tulek (2017) investigaron la cinética de degradación del β -caroteno en piezas de zanahorias durante el secado convectivo a 45, 55 y 60 °C con velocidad de aire de 2 m/s, determinaron que la cinética de degradación del β -caroteno es de primer orden de reacción, la temperatura influyo significativamente en la degradación del β -caroteno, las constantes de las velocidades de reacción fue de $0.23 \pm 0.08 - 0.48 \pm 0.04 \text{ h}^{-1}$ y la energía de activación fue de $33.33 \pm 0.05 \text{ kJ mol}^{-1}$.

Ortiz *et al.* (2012), determinaron que la degradación del ácido ascórbico puede estar influenciado por diversas variables del proceso de secado como; velocidad de aire, humedad relativa siendo la temperatura la más influyente en dicho proceso.

Ceballos y Jiménez (2012), mencionan que, en la obtención de frutas y verduras de alta calidad, es necesario minimizar los tiempos de exposición a altas temperaturas de secado. La velocidad y temperatura empleadas en el proceso deben ser bajas, para evitar las reacciones químicas de degradación de compuestos, sin embargo, estas condiciones podrían acelerar las reacciones enzimáticas o crecimiento microbiano.

Gómez (2009), determinaron que, el secado industrial a temperaturas superiores a los 90 °C ocasiona pérdidas de calidad, las temperaturas de secado de tomate ideales están entre 45 °C y 55 °C, esto permite al producto retener sus nutrientes incluyendo vitaminas, licopeno y la velocidad de reacción puede ser de orden cero, uno y dos.

Juntamay (2010), estudiaron el secado del aguaymanto a temperaturas de 60 °C, 70 °C y 80 °C; el tiempo de secado para las distintas temperaturas fue de 3 h 45 min, 2 h 15 min y 2 h, generando pérdidas del ácido ascórbico en un 39 %, 32.15 %, 68.39 %, respectivamente. A partir de los tiempos mencionados para las distintas

temperaturas el peso del aguaymanto se mantuvo constante, también señala que, a mayor temperatura es menor el tiempo de secado y existe menor pérdida del ácido ascórbico a una temperatura de 70 °C.

Castro *et al.* (2008) investigo el secado a 60 °C del aguaymanto por aire caliente con pretratamiento de deshidratación osmótica con sacarosa de 70 ° Brix a 40 °C por 16 horas obteniéndose pérdidas de 98 % de β -caroteno y las frutas sin pretratamiento tuvieron menores pérdidas de β -caroteno del 28 %.

Márquez, Ciro y Rojano (2003), determinaron que el contenido de vitamina C en la Mora de Castilla (*Rubus glaucus*) deshidratada con aire caliente disminuye a medida que se aumenta la temperatura de deshidratación, presentándose pérdidas de este nutriente que superan el 50 % para temperaturas mayores a 50 °C.

Villota y Hawkes (1997), concluye que en los procesos de secado la temperatura es la principal variable que influye en la retención de nutrientes y biodisponibilidad de alimentos almacenados. Considerables cantidades de ácido ascórbico pueden ser perder durante el procesamiento y almacenamiento de alimentos, especialmente en procesos de calentamiento y oxidación, pero su protección es particularmente difícil alcanzar.

2.2. Nacionales

Contreras (2015), mencionó que el incremento de la temperatura del proceso de secado del aguaymanto acelera la velocidad de degradación del ácido ascórbico, las temperaturas de secado fueron 40 °C, 50 °C y 60 °C, la constante de velocidad de degradación de 0.0203 h⁻¹, 0.0357 h⁻¹, 0.0707 h⁻¹, respectivamente. Existe una mayor retención de ácido ascórbico a temperaturas de 40 °C.

Salome (2017), menciona que al someter la pulpa de aguaymanto a 60 °C, 65 °C, 70 °C, 75 °C, 80 °C y 85 °C la constante de degradación del ácido ascórbico fueron 0.00276 min⁻¹, 0.00345 min⁻¹, 0.00438 min⁻¹, 0.0053 min⁻¹, 0.01105 min⁻¹, 0.01198 min⁻¹, respectivamente. La energía de activación fue 62.14077 kJ/mol y la degradación del ácido ascórbico mostró un comportamiento directamente proporcional a la temperatura y tiempo.

2.3. Locales

Díaz (2018), estudió el efecto del pre-tratamiento y temperatura en la cinética de secado del aguaymanto del ecotipo alargado selección Canaán empleando metabisulfito de sodio (Na₂S₂O₅) a concentraciones de 3, 4 y 5 % y temperaturas de 50, 60 y 70 °C, donde la temperatura es la variable más influyente, en comparación

con la concentración de metabisulfito sobre la cinética de secado.

Huachuillca (2017), estudió el efecto de la liofilización sobre los compuestos bioactivos y capacidad antioxidante en la pulpa de aguaymanto, donde sucedió pérdidas del 29.87 % del ácido ascórbico; 58.29 % de β -caroteno.

CAPITULO III: MARCO TEÓRICO

3.1 Aguaymanto (*Physalis peruviana* L.)

El aguaymanto es una planta herbácea nativa de los andes del Perú pertenece a la familia solanaceae y género *Physalis*, es una fuente importante de vitamina C, β -caroteno, compuestos fenólicos y otras vitaminas (Olivares, Dekker, Verkerk, y Van, 2016), en la Figura 01 se muestra los frutos de aguaymanto en estado maduro.

El aguaymanto es una planta resistente, con facilidad de adaptación y propagación por lo que se encuentra en diversos países y regiones del Perú, tiene distintas denominaciones: aguaymanto (Perú), uchuva (Colombia), uvilla (Ecuador) y cape gooseberry o inca Goldenberry (Europa), topotopo (Venezuela), Coqueret du Pérou o Groseillier du Cap (Francia), Kapstachelbeere (Alemania), Groselha do Perú (Portugal), Fisalis (Italia) y Lampion (Holanda). Se reportaron más de ochenta ecotipos que se encuentran en estado silvestre (Hernández, 2013).



Figura 1. Fruto de aguaymanto maduros.

3.1.1 Descripción del aguaymanto

El aguaymanto es una planta algo trepadora y posee una raíz fibrosa de más de 60 cm de profundidad. El tallo basal es algo leñoso en la base, después de formar 8 o 12 nodos se ramifica dos veces en forma sustancial de modo que se forma cuatro tallos generativos (Fisher, 1995), pudiendo alcanzar una altura de 0.60 m a 1.00 m (Arteaga y León, 2015). Las hojas tienen la forma de corazón, suavemente peludas, pecioladas, dispuestas alternamente y opuestas (Everett, 1981).

Las flores son hermafroditas en forma de campana, la corola es de color amarillo con manchas purpuras, se asientan en las axilas de las hojas. El fruto está cubierto por el cáliz en su totalidad pudiendo llegar a medir unos 5 cm de forma redonda o alargada (Fischer, Ebert, y Lüdders, 2000), en la etapa de desarrollo y maduración

el cáliz cumple la función de protección del fruto frente a ataques de insectos, enfermedades, aves, daños mecánicos, condiciones climáticas adversas (Tapia y Fries, 2007; Torres, 2011). El cáliz interviene en la acumulación y traslocación de carbohidratos principalmente la sacarosa, durante los primeros 20 días del desarrollo del fruto (Fischer, Lüdders y Torres, 1997). El epicarpio (piel) tiene un aspecto liso y está cubierto por cera, los colores de fruto pueden variar de tonalidad según la variedad reportándose colores como; amarillo, dorado, naranja o verde, de forma ovoide o globosa compuesto por 5 % de cáliz (cáscara) y 95 % de baya. Las semillas representan aproximadamente el 17 % y la fracción de pulpa/cáliz es aproximadamente 83 % del fruto, en estado maduro puede tener llegar entre 1.25 cm – 2.00 cm de diámetro, con una masa de 4.00 g – 10.00 g que contiene alrededor de 150 a 300 semillas pequeñas/ fruto tarda de 60 a 80 días en madurar. Una sola planta a puede llegar a producir 300 frutas y plantas debidamente cuidadas puede proporcionar de 20 a 30 toneladas por hectáreas (Fischer, 1995; Ramadan, 2011a).

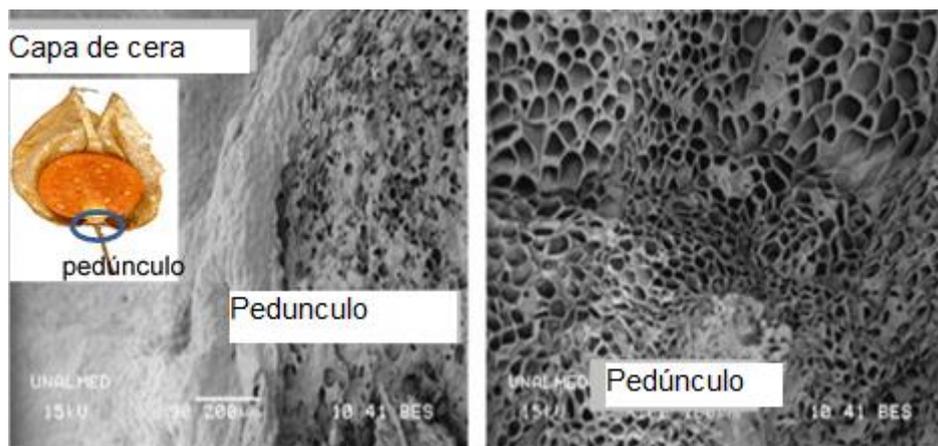


Figura 2. Estructura interna del fruto del aguaymanto.

Fuente: Marín, Cortés y Montoya (2010).

El 95% de la superficie de la fruta es una película cerosa que está compuesta principalmente de terpenos de resina; sin embargo, el área del pedúnculo contiene el punto de ruptura del cáliz, por ellos tiene una microestructura porosa. En la Figura 2 lado izquierdo se puede observar y diferenciar las dos zonas; una película compacta, cerosa e impermeable y otra alrededor de los tallos que son porosos (Puente, Pinto, Castro, y Cortés, 2011).

3.1.2 Clasificación taxonómica del aguaymanto

A continuación, se muestra la clasificación taxonómica del aguaymanto, referido a una planta herbácea según Cronquis (1981), citado por Alarcón (2002).

Jerarquía	Nombre científico
Reino	: Plantae
División	: Magnoliophyta
Clase	: Magnoliopsida
Sub-clase	: Asteridae
Orden	: Solanales
Familia	: Solanaceae
Sub-familia	: Solanoideae
Tribu	: Solanae
Género	: <i>Physalis</i>
Especie	: <i>Physalis peruviana L.</i>

3.1.3 Etapas de desarrollo del aguaymanto

Según la escala BBCH (Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt und Chemische Industrie), considera siete etapas principales de crecimiento para el aguaymanto (Ramírez, Fischer, Davenport, Pinzón, y Ulrichs, 2013) de las nueve etapas de desarrollo fisiológico existentes en la tabla 1, se detallan las características de dichas etapas.

Tabla 1. *Etapas de crecimiento del aguaymanto.*

Etapas	Características	<i>Physalis peruviana L.</i>
0	Germinación, brotación, desarrollo de la yema	Germinación
1	Desarrollo de la hoja	Desarrollo foliar
2	Formación de brotes laterales, macerado.	Formación de brotes laterales y primera
3	Alargamiento del tallo o crecimiento de roseta	bifurcación
4	Desarrollo de partes vegetales vegetativas cosechables de la planta, tornillo.	

Etapas	Desarrollo fisiológico general	<i>Physalis peruviana L.</i>
5	Inflorescencia encabezado.	emergente, Emergencias de inflorescencias
6	Floración	Floración
7	Desarrollo del fruto.	Desarrollo de frutos
8	Maduración o madures de frutos y semillas.	Maduración de frutos y semillas
9	Senescencia, inicio de la latencia.	

A partir la etapa 5, se producen etapas simultáneas de desarrollo a lo largo de la fenología de la planta, por ello es común observar flores tempranas, completamente abiertas, frutos inmaduros y maduros en la misma planta (Ramírez et al., 2013). En la figura 3 se muestra el ciclo fenológico para el aguaymanto.

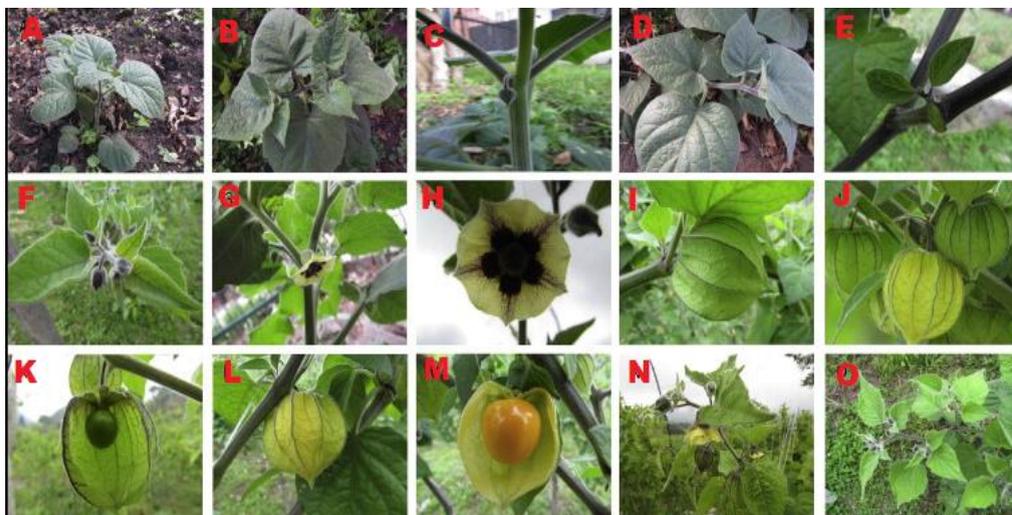


Figura 3. Etapas fenológicas de *Physalis peruviana L.* según la escala BBCH.

Fuente: Ramírez et al. (2013).

Descripción de cada etapa: (A) Nueve o más hojas en el desarrollo principal del brote, (B-D) primera y segunda bifurcaciones, brotes apicales visibles, observe la primera flor en la bifurcación, (C, E) brote nuevo, (F) brotes florales, (G- H) primera flor abierta, la fruta (I-J) se desarrolla en racimos (normalmente cada nodo en la parte reproductiva de la planta porta una fruta), (K) fruta inmadura, (L) fruta madura en cáliz coloreado, (M) fruta madura, (N-O) aparición simultánea de flores, frutos y brotes en la misma.

3.1.4 Condiciones climáticas de crecimiento del aguaymanto

El aguaymanto se desarrolla desde 0 hasta 3300 m.s.n.m., el ambiente propicio es de 2400 a 2800 m.s.n.m. debido a la baja incidencia de plagas, enfermedades y mejores condiciones climáticas (FAO, 1982; MINCETUR, 2009).

La incidencia de luz favorece la formación de entrenudos y el crecimiento de hojas, las condiciones óptimas se da a luminosidades altas (Basoalto, 2004), pero en condiciones de menor luminosidad como en los invernaderos, existe mayor crecimiento longitudinal de las ramas en comparación con cultivos de aire libre (Fisher, 2000), además requiere una precipitación anual de 500 a 2000 mm (Basoalto, 2004).

La humedad relativa recomendable es de 70 a 80 %, la planta tiene bajo requerimiento de agua y fertilizantes las condiciones, altas de humedad relativa favorecen a la propagación de enfermedades de hoja y cáliz. El cultivo se adapta a una amplia variedad de suelos (fértil, bien drenado y arenoso) (National Research Council, 1989), con rango de pH entre 5.5 – 6.8 (Almanza y Fischer, 1993).

3.1.5 Propiedades fisicoquímicas del aguaymanto

Diversas investigaciones referido a las propiedades fisicoquímicas del aguaymanto fueron publicadas; las cuales coinciden en sólidos solubles °Brix, acidez, actividad de agua, etc. el aguaymanto tiene elevada humedad, actividad de agua y sólidos solubles, las cuales se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. *Propiedades fisicoquímicas del aguaymanto.*

	Duque et al., 2011	Botero et al., 2008	Restrepo et al., 2008
Humedad (%)	80.0 ± 1.00	---	---
Actividad de agua	0.987 ± 0.00	0.989 ± 0.03	0.985 ± 0.00
° Brix	13.8 ± 0.80	13.73 ± 0.49	13.80 ± 0.32
Acidez (%)	1.58 ± 0.10	1.9 ± 0.26	2.10 ± 0.26
pH	3.72	3.67 ± 0.12	3.39 ± 0.06
Densidad (g/ml)	0.96 ± 0.1	---	---

3.1.6 Composición química del aguaymanto

El aguaymanto es una buena fuente de provitamina A, vitamina C, minerales, complejo de vitamina B, fósforo, contiene 15 % de solidos solubles (Ramadan,

2011b) se puede apreciar en la Tabla 3, también tiene un alto contenido en fibra dietética y la pectina actúa como un regulador intestinal (Ramadan y Mörsel, 2004).

Tabla 3. *Composición química en 100 g de pulpa de aguaymanto.*

Componente	Rango
Humedad b.h. (%)	78.9 - 85.5
Proteína (g)	0.3 - 1.5
Grasa (g)	0.15 - 0.5
Carbohidratos (g)	11.0 - 19.6
Fibra (g)	0.4 - 4.9
Ceniza (g)	0.7 - 1.0
Carotenos (mg)	1.6
Tiamina (mg)	0.1 - 0.18
Riboflavina (mg)	0.03 - 0.18
Niacina (mg)	0.8 - 1.7
Ácido ascórbico (mg)	20 - 43
Potasio (mg)	210 - 467
Magnesio (mg)	7 - 19
Calcio (mg)	2 - 8
Fosforo (mg)	27 - 55.3
Hierro (mg)	0.3 - 1.2
Zinc (mg)	0.28 - 0.4

Fuente: Ramadan y Mörsel (2004); Restrepo *et al.* (2008)

3.1.7 Concentración de compuestos bioactivos en el aguaymanto

El aguaymanto contiene compuestos bioactivos como; el ácido ascórbico, β -caroteno y compuestos fenólicos, en la Tabla 4 se muestra el contenido de ácido ascórbico y β -caroteno durante toda la etapa de desarrollo del aguaymanto, el contenido de estos compuestos está en función al estado de madurez (ICONTEC, 1999).

Tabla 4. *Contenido de compuestos bioactivos del 100 g de aguaymanto.*

Estado de madurez	Ácido ascórbico (mg)	carotenos totales (mg β -caroteno)
0	3.23 \pm 0.08	0.12 \pm 0.08
1	12.9 \pm 1.02	0.78 \pm 0.12
2-3	28.55 \pm 0.1	1.77 \pm 0.02
4	35.9 \pm 0.84	1.95 \pm 0.11
5	45.23 \pm 1.24	2.02 \pm 0.06
6	51.65 \pm 0.91	2.34 \pm 0.04

Fuente: ICONTEC (1999)

La NTC 4580 clasifica la etapa de madurez según; el color, sólidos solubles y acidez con un estado de madurez de 0 a 6 (ICONTEC, 1999). El incremento del contenido en cuanto al ácido ascórbico puede ser debido a la síntesis bioquímica durante el proceso de maduración (Repo de Carrasco y Encina, 2008), estado de madurez, condiciones climáticas y ecotipo. La concentración máxima de β -caroteno se da cuando el fruto adquiere un color naranja (Fisher y Martínez, 1999).

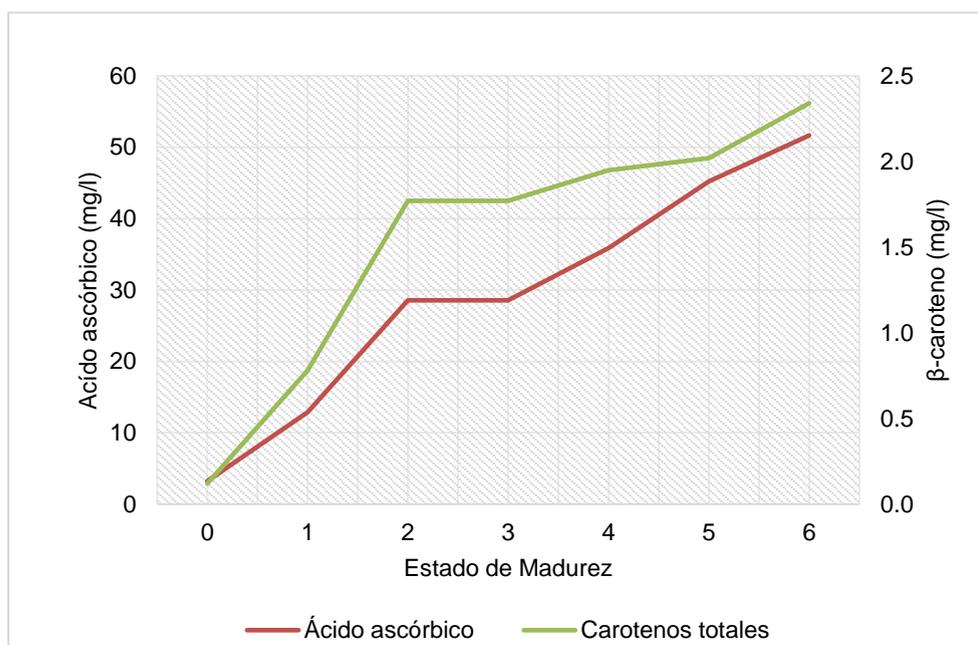


Figura 4. *Evolución de compuestos bioactivos.*

Fuente: ICONTEC (1999).

3.1.8 Beneficios para la salud de los extractos del aguaymanto

El aguaymanto contiene diversos componentes bioactivos, algunos de estos compuestos tienen altas propiedades antioxidante y previenen el daño pre-oxidativo de las microsomas hepáticos y hepatocitos. Por ello, el aguaymanto tiene efecto antihepatotóxico, actividad antihepatoma y actividad antiinflamatoria Wang, *et al.* (1999) citado por (Hassanien, 2011).

3.1.9 Producción y comercialización de aguaymanto en el Perú

El cultivo de aguaymanto es una alternativa de producción para la economía de muchos países, por las buenas perspectivas e interés en los mercados internacionales, incentivados por las características nutricionales y propiedades medicinales que posee el fruto (Gastelum, 2012).

A nivel mundial los principales países productores de aguaymanto son: Colombia, Kenia, Zimbabue, Australia, Nueva Zelanda, India y Ecuador como se aprecia en la Tabla 5, la producción en Perú es menor que en los países mencionados; Sin embargo, en los últimos años el gobierno peruano, demuestra mayor interés en impulsar la producción de este fruto, mediante el Programa Nacional Perú Berries, Sierra y Selva Exportadora brinda asesoría a pequeños productores de aguaymanto de nueve regiones del país: Cajamarca, Lambayeque, Huánuco, Áncash, Lima, Junín, Arequipa, Cusco y Moquegua, producto de estas acciones se logró incrementar la producción del aguaymanto, pero en el departamento de Apurímac disminuyó de 40 a 33 ha (Sierra y Selva Exportadora, 2016).

Tabla 5. Producción de aguaymanto en el periodo 2014-2016.

Indicadores	Año	Amazonas	Apurímac	Huánuco
Superficie cosechada (ha)	2014	8	4	23
	2015	8	6	106
	2016	7	5	131
Producción (Tm)	2014	35	27	166
	2015	34	40	571
	2016	29	33	659
Precio/tonelada (s/ Tm ⁻¹)	2014	2272	1493	1957
	2015	2092	1121	1813
	2016	2223	1091	1606

Indicadores	Año	Lambayeque	Arequipa	Pasco
Superficie cosechada (ha)	2014	4		
	2015	8	4	12
	2016	73	5	12
Producción (t)	2014	6		
	2015	17	15	25
	2016	156	23	18
Precio/tonelada (s/ Tm ⁻¹)	2014	3500		
	2015	2512	5041	2763
	2016	3446	4175	3076

Fuente: SIEA (2015); SIEA (2016).

Los principales países consumidores de este producto son: Holanda, Alemania, Francia, Inglaterra, España, Bélgica, Suiza, Canadá, Estados Unidos, Reino Unido, Italia, Brasil, Rusia, Turquía y Japón (FAO, 2006). El aguaymanto llegó a 35 países en los meses de enero a setiembre, siendo Estados Unidos el mayor consumidor con un 29%, seguido por países bajos (22%), Alemania (14%), Japón (11%), Canadá (6%) y Corea (4%), durante estos periodos mencionados el Perú exportó aguaymanto fresco, aguaymanto deshidratado, aguaymanto orgánico deshidratado, pulpa de aguaymanto orgánico, aguaymanto cubierto de chocolate, mermelada orgánica de aguaymanto, entre otras presentaciones (Sierra y Selva Exportadora, 2016).

3.1.10 Investigaciones sobre el aguaymanto (*Physalis peruviana* L.)

Existen publicaciones acerca del *Physalis peruviana* L. desde 1995, a partir de ese periodo el número de publicación de trabajos de investigaciones tienen una tendencia creciente, desde el 2013 se observa mayor incremento, tal como se muestra en la Figura 5, este incremento se debe a las propiedades beneficiosas que se atribuye al aguaymanto y las mayores publicaciones fueron en revistas de etnofarmacológicas.

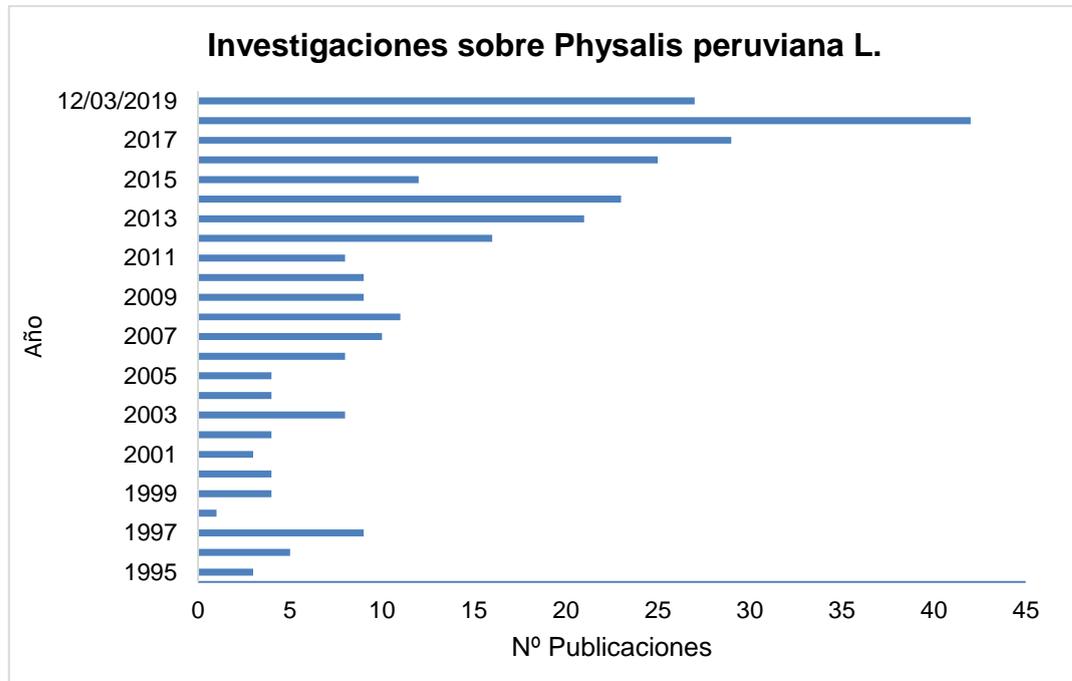


Figura 5. Publicaciones sobre *Physalis peruviana L*

Fuente: Science direct (2019).

3.2 Ácido ascórbico

El ácido ascórbico (L-ácido ascórbico) también conocido como vitamina C, es una molécula sólido cristalino blanco soluble en agua y es una molécula de carga neutra que puede protonarse y convertirse en ascorbato dependiendo del pH del medio en el que se encuentra, es una de las vitaminas hidrosolubles más importantes para los seres humanos que es asociada a una serie de funciones fisiológicas (Fang et al., 2017).

El isómero L del ácido ascórbico es la forma natural de la vitamina C, mientras que el isómero óptico D- tiene alrededor de 10% de la actividad del isómero L- pero sin fines vitamínicos.

El AA (ácido ascórbico) puede ser sintetizados por la mayoría de los animales y plantas, se sintetizan a partir de azúcar hexosa; sin embargo los humanos y otros primates son incapaces de sintetizar este compuesto, esto es debido a una mutación del gen que carece de capacidad de realizar la codificación del 1-gulono-1,4-lactona oxidasa del hígado, la cual es la enzima que cataliza el último paso de la biosíntesis de AA (Nishikimi, Fukuyama, Minoshima, Shimizu y Yagi, 1994).

Por lo tanto, la ingesta adecuada de AA en los alimentos es necesaria para el desarrollo adecuado del funcionamiento fisiológico, las frutas y verduras son las

fuentes naturales más ricas de AA en la dieta humana, el contenido de AA en las frutas se considera como un indicador para evaluar la frescura y la calidad nutricional de las mismas (Ahvenainen, 1996).

3.2.1 Estructura del ácido ascórbico

Estructuralmente el L-ácido ascórbico es una de las vitaminas más simples, está relacionado con los azúcares C6 que es la aldono-1,4-lactona de un ácido hexónico (L-galactónico o L-ácido glucónico) y contiene un grupo enediol en los carbonos 2 y 3 que lo hace un agente muy reductor (Davey et al., 2000) tal como se aprecia en la Figura 6..

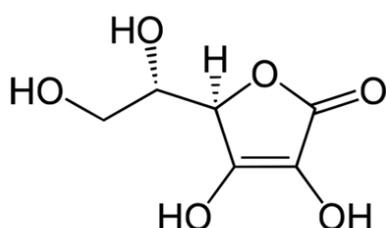


Figura 6. Estructura del L-ácido ascórbico.

Fuente: Davey *et al.* (2000).

3.2.5 Degradación del ácido ascórbico

Se han determinado alrededor de 50 productos de bajo peso molecular procedentes de la degradación del ácido ascórbico, se han generados tres tipos de productos de descomposición:

- Intermediarios polimerizados.
- Ácidos carboxílicos insaturados de una longitud de cadena de 5 y 6 átomos de carbono.
- Productos de fragmentación con 5 o menos átomos de carbono.

Se ha descrito también la generación del formaldehído durante la degradación térmica del ascorbato a pH neutro (Fennema, 2010).

La cinética de degradación se ve afectada significativamente por factores ambientales como el pH, temperatura, luz, presencia de enzimas, oxígeno, metales y catalizadores metálicos. Existe dos diferentes tipos de degradación: aeróbica y anaeróbica. El mecanismo de anaeróbica es complejo y no ha sido completamente establecido, este tipo de degradación es relativamente insignificante en la mayoría de los productos alimenticios Gregory III, F. citato por

Santos y Silva (2008), el ácido ascórbico es oxidado a dehidroascórbico en condiciones aeróbicas seguido por hidrólisis y oxidación adicional, este mecanismo puede ser simplificado por:



L-Ácido ascórbico (AA): $C_6H_8O_6$

L-Ácido dehidroascórbico (DHAA): $C_6H_6O_6$

3.2.2 Contenido de AA en los alimentos

El L-ácido ascórbico es un constituyente universal de todas las plantas verdes tal como se muestra en la Tabla 6, con la excepción de las semillas latentes, por ello, no es difícil obtener un suministro adecuado en la dieta diaria en países desarrollados; sin embargo, el alcoholismo y la pobreza afectan su biodisponibilidad. Para adultos, las necesidades dietéticas se satisfacen con una ingesta mínima de 60 mg por día.

Tabla 6. *Contenido de ácido ascórbico en alimentos.*

Alimento	mg/100 gramos
Plátano	10-30
Palta	15-20
Manzana	2-10
Zanahoria	6
Lechuga	15
Limon	50
Lima	25
Melon	10-35
Naranja	30
Tánguelo	30
Pera	7-31
Piña	12-25
Espinaca	51
Fresa	59-60
Tomate	20-25

Fuente: Davey *et al.* (2000)

3.3 β -caroteno

El β -caroteno pertenece a la familia de los carotenoides, que son una amplia familia compuestos de isoprenoides de 40 átomos de carbono, contienen una serie de dobles enlaces conjugados que constituyen un grupo cromóforo de la molécula, responsable del color y de las propiedades de absorción de la luz (Giuliano, Tavazza, Diretto, Beyer, y Taylor, 2008). Los carotenoides son los segundos pigmentos naturales más abundantes en la tierra, con más 750 miembros, son convertibles a vitamina A (retinol) aproximadamente en un 10% por escisión enzimática desarrollados en el cuerpo, principalmente son lipofílicos que se pueden dividir en dos subgrupos: xantofilas y carotenos. El β -caroteno y el licopeno pertenecen al segundo grupo mencionado, siendo el β -caroteno el compuesto que se encuentra en la mayoría de las frutas y hortalizas y es el encargado de dar la coloración anaranjada en las plantas. La actividad provitamínica del β -caroteno es mayor al α -caroteno y β -criptoxantina (Wertz, y otros, 2005) y puede ser aportado en la dieta humana en dos formas: como retinol (alimentos de origen animal) habitualmente en forma de éster, o como precursores carotenoides (provitamina A) (Wang, 1994).

El β -caroteno es químicamente inestable en los alimentos y es propenso a la isomerización y la oxidación, lo que ocasiona la pérdida de color y la pérdida de propiedades saludables (Namitha y Negi, 2010), la estabilidad del β -caroteno se ve significativamente afectada por la arquitectura de la red de cristales de grasa (Calligaris, Valoppi, Barba, Anese, y Nicoli, 2018).

Ha quedado demostrado que los carotenoides inactivan oxígeno singlete, hidroxilo, peróxidos y otros oxidantes mediante un proceso en el que se transfiere la energía de altos niveles de excitación a un triple del carotenoides. Este puede volver al estado basal liberando calor o modificando la molécula basal (Sánchez, *et. al*, 1999).

3.3.1 Estructura química del β -caroteno

El β -caroteno se distingue de los carotenos, por tener anillos beta ionona en ambos extremos de la molécula. Esta constituido de una cadena poliénica, que es un sistema extenso de dobles enlaces conjugados, que consiste en alternar enlaces carbono-carbono simples y dobles (Cross, 1987) como se muestra en la Figura 7.

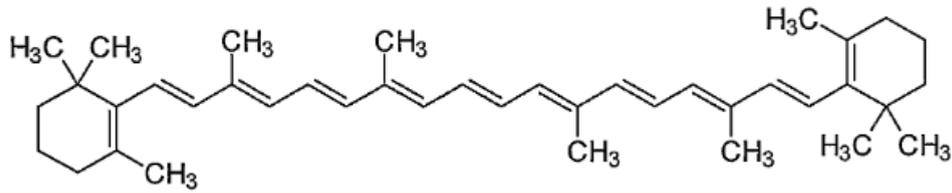


Figura 7. Estructura bicíclica del β -caroteno

Fuente: Costa *et al.* (2001).

La cadena es altamente reactiva y rica en electrones, en presencia de oxidantes fácilmente se forman radicales libre de vida corta. Los radicales libres como el oxígeno singlete $\cdot\text{O}_2$ e hidroxilo $\cdot\text{OH}$ son especies altamente reactivas capaces de iniciar la peroxidación de lípidos e inactivar proteínas.

El número de enlaces conjugados de dobles enlaces es directamente proporcional con la longitud de onda absorbida. La ciclación influye en el grado de coloración, se consideran lípidos, por tanto, son solubles en otros lípidos y solventes orgánicos como acetona, etanol, metanol, éter etílico y cloroformo, es soluble en solventes apolares como el éter de petróleo y hexano, mientras que la xantofilia se disuelve mejor en solventes polares como etanol y metanol (Cross, 1987).

3.3.2 Fuentes dietéticas del β -caroteno

Se estima que la producción anual del carotenoide es aproximadamente 100 millones de toneladas. La mayor parte se encuentra en forma de fucoxantina y luteína (Delgado Vargas *et al.* 2000). Seguido por estos compuestos se encuentran la zeaxantina, β – caroteno, violaxantina y neoxantina. Si la coloración es naranja de una fruta el carotenoide más abundante es el β – caroteno (McGhie, 2002). Generalmente el todo-trans- β -caroteno es el principal carotenoide de provitamina identificado en la mayoría de los alimentos. Mientras que el 13-cis- β -caroteno se encuentra en cantidades mínimas. En los mangos fresco se reportaron que el contenido de all-trans- β -caroteno fue 3824.9 $\mu\text{g}/100$ de muestra seca y 867.7 9 $\mu\text{g}/100$ de muestra seca de 13-cis- β -caroteno (Guiamba, Ahrné, Khan, y Svanberg, 2016).

Tabla 7. Contenido de β -caroteno en verduras y frutos.

Cultivo	$\mu\text{g/ g}$ de peso fresco
Brócoli	919.00
Col verde	59.00
Espinaca	4021.00
Guisante	458.00
Haba	261.00
Lechuga	91.00
Berro	5919.00
Perejil	4523.00
Plátano	39.00
Naranja	14.00

Fuente: (Fraser y Bramley, 2004).

3.3.3 Degradación del β -caroteno y ácido ascórbico en los alimentos

Las frutas y verduras experimentan cambios rápidos y progresivos por el alto contenido de humedad, por ello se emplea tratamientos como el secado; Sin embargo, este tratamiento tiene consecuencias negativas en algunos nutrientes tal es el caso del AA, por ello se emplea el AA como vitamina “marcador” en estudios sobre el efecto los efectos del procesamiento sobre el valor nutricional de los alimentos. El procesamiento térmico podría tener un doble efecto sobre β -caroteno, como la inducción a la isomerización y degradación del β -caroteno, sobre todo en condiciones de procesamiento intenso, pero el procesamiento térmico intenso incrementa la bioaccesibilidad del β -caroteno (cantidad de β -caroteno que puede ser liberado de la matriz del alimento durante la digestión y la absorción en la mucosa gástrica). El procesamiento térmico genera pérdida de este compuesto, pero la bioaccesibilidad es probablemente lo suficientemente alto como para trascender este efecto negativo.

Los factores que afecta el contenido de β -caroteno es la ruptura de la matriz celular de los alimentos durante el procesamiento y hace que sean más vulnerables a la degradación por oxidación (K’osambo *et al.* 1998). La luz, el calor, la auto-oxidación durante el procesamiento, son factores causantes de la degradación de los carotenoides, la degradación de los carotenoides también ha sido asociada con el desarrollo del mal sabor de algunos alimentos, como la deshidratación de zanahorias y en las hojuelas de camote (Falconer *et al.* 1964)

3.4 Cinética de deterioro de la calidad de alimentos

El estudio de la cinética de los procesos de transformación de los alimentos ha sido objeto de gran atención durante los últimos años, debido principalmente a los esfuerzos para optimizar la calidad de los productos durante el procesado y el almacenamiento. Los cambios químicos, bioquímicos, microbianos y de calidad física pueden abordarse mediante la cinética (Van Boekel, 2008).

3.5 Modelado cinético

El modelado cinético consiste en emplear modelos matemáticos con sus respectivos parámetros que permitan capturar o reproducir las variaciones de calidad que sucede en los alimentos, estos parámetros cinéticos pueden ser la energía de activación y las constantes de velocidad (Van Boekel, 2008).

Modelar tiene tres objetivos: comprensión, predicción y control. Aunque tradicionalmente la cinética química se ha aplicado para explicar los cambios químicos que ocurren en un sistema, también se puede aplicar a cambios físico-químicos, como los cambios en la textura y el color que sufren los alimentos también pueden describirse por medio de asimilación a las velocidades de reacción (Villota y Hawkes, 1997).

3.6 Velocidad de reacción

Los alimentos pueden considerarse en general como sistemas discontinuos. La velocidad de reacción, es decir la velocidad de aparición o desaparición de alguna sustancia necesita ser adaptada a cada sistema, puede admitirse que la velocidad de reacción representa, en estos casos, el cambio de concentración de un reactivo en función del tiempo y proporciona una medida de la reactividad y estabilidad del sistema (Villota y Hawkes, 1997).

Levenspiel (2004), la medida más útil de la velocidad de reacción del reactivo A es mediante la ecuación 2:

$$r_A = -\frac{1}{V} \frac{dN_A}{dt} = \frac{\text{moles de componente A que desaparece}}{(\text{volumen})(\text{tiempo})} \quad \text{Ecuación 2}$$

Dónde:

r_A = Velocidad de desaparición de A (mol/l.s).

N_A = Moles de A (mol).

t = Tiempo (s).

V = Volumen del sistema o reactor (l)

De acuerdo con esta definición, la velocidad será positiva si A aparece como producto, mientras será negativa si A es una reactante que se está consumiendo (Levenspiel, 1981).

3.6.1 Orden de reacción

De singular importancia en el campo de las cinéticas, es la determinación del orden de reacción. Una primera aproximación para determinarlo en un proceso simple e irreversible vendría dada por la siguiente ecuación de velocidad de reacción (Villota y Hawkes, 1997). En la ecuación 3, se muestra la llamada ley de velocidad general, el cual es usado para un solo reactivo con concentración C_A

$$r_A = -\frac{dC_A}{dt} = -K C_A^n \quad \text{Ecuación 3}$$

n = orden de reacción.

C = concentración del compuesto A (mg/l).

K = constante de velocidad de reacción las unidades están en función al orden de reacción. Es importante mencionar que, las constantes de degradación son específicas para cada producto y es necesario determinarla experimentalmente para establecer un modelo matemático para la cinética de degradación de la vitamina C.

3.6.2 Variación de la concentración con el tiempo para reacciones elementales

a) Reacciones de orden cero

Levenspiel (2004), una reacción es de orden cero cuando la velocidad de reacción es independiente de la concentración de los materiales y se observa en la ecuación 4.

$$r_A = -\frac{dC_A}{dt} = K_0 \quad \text{Ecuación 4}$$

Para la integración se toma como condición de contorno las siguientes condiciones; cuando $t=0$ la $C_A=C_{A0}$ y si $t=t$ la $C_A=C_A$, obteniéndose la ecuación 5 y 6.

$$C_A = C_{A0} - K_0 t \quad \text{para } t < \frac{C_{A0}}{K_0} \quad \text{Ecuación 5}$$

$$C_A = 0 \quad \text{para } t \geq \frac{C_{A0}}{K_0} \quad \text{Ecuación 6}$$

Dónde:

C_A : Concentración a tiempo t (mg/l).

C_{A0} : Concentración inicial (mg/l).

K_0 : Constante de velocidad de reacción de orden cero (mg/l.s).

Es decir, la concentración del componente disminuye linealmente con el tiempo hasta su agotamiento (Romero, 2008).

Las reacciones de orden cero se informan con bastante frecuencia para los cambios en los alimentos, especialmente para las reacciones de formación cuando la cantidad de producto formado es solo una pequeña fracción de la cantidad de los reactantes, o para reacciones de descomposición donde solo se forma una pequeña cantidad de producto.

El reactivo se encuentra en un exceso tan grande que su concentración permanece efectivamente constante durante todo el período de observación, llegando a parecer que la tasa es independiente de la concentración. Ejemplo de ello, es la aparición del color marrón en los alimentos como resultado de la reacción de Maillard (Van Boekel, 2008).

b) Reacciones de primer orden

Haciendo la misma consideración anterior, suponiendo que la reacción es de orden uno es decir $n=1$.

$$r_A = -\frac{dC_A}{dt} = -K_1 C_A \quad \text{Ecuación 7}$$

Integrando con los límites de contorno de $t=0$ la $C_A=C_{A0}$ y si $t=t$ la $C_A=C_A$ se tiene la ecuación 8:

$$\ln\left(\frac{C_A}{C_{A0}}\right) = -K_1 t \quad \text{Ecuación 8}$$

Si despejamos C_A , nos queda:

$$C_A = C_{A0} e^{-K_1 t} \quad \text{Ecuación 9}$$

Dónde:

K_1 : Constante de velocidad de reacción de primer orden (s^{-1}).

La ecuación (8) se da cuando el proceso es irreversible, la velocidad de cambio

no es constante durante el proceso y está relacionada con la magnitud del parámetro de calidad en el momento que se considere (Romero, 2008).

La ecuación no lineal ecuación 9 se transforma en una ecuación lineal ecuación 10, encontrándose con frecuencia y se utiliza la forma logarítmica en lugar de la ecuación exponencial:

$$\ln C_A = \ln C_{A0} - K_1 t \quad \text{Ecuación 10}$$

Para las reacciones reversibles con una especie reactante y otro producto, la expresión sería (Villota y Hawkes, 1997).

$$C_A = C_{Ae} + (C_{A0} - C_{Ae}) \cdot e^{(-K_1(1+\frac{1}{K_C})t} \quad \text{Ecuación 11}$$

Dónde:

K_1 : Constante de velocidad de la reacción directa.

K_C : Constante de equilibrio.

La transformada logarítmica de las concentraciones genera una recta; sin embargo, no es recomendable que se realice la transformada para estimar la constante de velocidad, por razones estadísticas. Debido a que al transformarse no solo se transforman los datos, sino también la estructura de error relacionada con los datos y esto puede llevar a un sesgo de estimación por que violan algunos supuestos que subyacen la regresión (Van Boekel, 2008).

c) Reacciones de Segundo Orden

Según Villota y Hawkes (1997) podemos distinguir dos tipos de reacciones con cinética de segundo orden:

TIPO I:



La ecuación definitoria diferencial de segundo orden se transforma en:

$$r_A = -\frac{dC_A}{dt} = K_2 C_A^2 \quad \text{Ecuación 12}$$

Integrando la ecuación 10, con estos límites de contorno cuando $t=0$ la $C_A=C_{A0}$ y si $t=t$ la $C_A=C_A$, se obtiene finalmente la ecuación 13.

$$\frac{1}{C_A} - \frac{1}{C_{A0}} = K_2 \cdot t \quad \text{Ecuación 13}$$

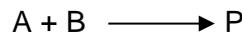
Dónde:

C_{A0} : Concentración inicial.

C_A : Concentración a tiempo t.

K_2 : es la constante de reacción de segundo orden (l/mg.s).

TIPO II:



La ecuación diferencial final de segundo orden se transforma en:

$$r_A = -\frac{dC_A}{dt} = K_2 C_A C_B t \quad \text{Ecuación 14}$$

Para integrar se toma los mismos límites de contorno ya mencionados y se obtiene la ecuación 15.

$$K_2 t = \frac{1}{C_{A0} - C_{B0}} \ln \left[\frac{C_A C_{B0}}{C_{A0} C_B} \right] \quad \text{Ecuación 15}$$

Dónde:

C_{A0} , C_{B0} : concentraciones iniciales.

C_A , C_B : concentraciones a tiempo t.

Las reacciones de segundo orden a veces se reportan por cambios de aminoácidos involucrados en la reacción de Maillard. Un ejemplo de ello es la pérdida de lisina (unida a proteínas, por lo tanto, el grupo ϵ -amino de lisina) en la leche esterilizada debido a la reacción de Maillard. Sin embargo, no se reportan frecuentemente (Van Boekel, 2008).

d) Dependencia de la temperatura según la ley de Arrhenius

La velocidad de reacción es función principalmente de la composición y de la temperatura, la influencia de la concentración está representada a través de la constante cinética o velocidad específica, Mientras que, la relación entre la constante de velocidad y la temperatura se describe mediante la ley de Arrhenius (Levenspiel, 2004). Esta ley se derivó empíricamente para describir la dependencia de la temperatura de reacciones químicas simples, ha demostrado ser muy valioso en cinética química, debido a que, relaciona la constante de velocidad K de una reacción con la temperatura absoluta T, de la siguiente forma.

$$k = A e^{\frac{-E_a}{RT}}$$

$$r_A = -\frac{dC_A}{dt} = -kC_A^n = Ae^{\frac{-E_a}{RT}} C_A^n \quad \text{Ecuación 16}$$

Dónde:

C_A : Concentración de A (mg/l).

k : Constante cinética o velocidad específica (s^{-1}) que está en función de la temperatura.

n : Orden de reacción.

A : Factor de frecuencia o factor pre exponencial.

T : Temperatura absoluta (K).

R : Constante universal de los gases (8.3145J/mol K)

E_a : Energía de activación (kJ/mol).

La dimensión de A debe ser la misma que la de la constante de velocidad k . La energía de activación es la mínima cantidad de energía que requieren las moléculas para reaccionar, esta energía proviene de la energía cinética de las moléculas que colisionan; sin embargo, si las moléculas se mueven muy lento estas solo rebotan al colisionar y no sucede la reacción química, esta expresión se ajusta bien a los datos experimentales en un amplio rango de temperaturas y, desde diferentes puntos de vista, se considera como una buena aproximación a la verdadera dependencia de la temperatura (Levenspiel, 2004). El significado físico de A es que representa la constante de velocidad a la que todas las moléculas tienen suficiente energía para reaccionar ($E_a=0$).

La energía de activación se obtiene a través de la regresión lineal de la constante de velocidad frente a la inversa de la temperatura. La forma linealizada de la ecuación 16 proporciona como resultado la ecuación 17:

$$\ln k = \ln A - \frac{E_a}{RT} \quad \text{Ecuación 17}$$

3.7 Deshidratación

La deshidratación de los alimentos permite asegurar una buena estabilidad por descenso de la a_w reducir los costos de transporte y de almacenamiento. La deshidratación es la eliminación de agua del alimento menor al 2.5 % (Ibarz, 2005).

3.8 Secado

El secado es uno de los métodos más antiguos para conservar los alimentos, el cual involucra de manera simultánea la transferencia de materia y energía. La transferencia de materia se considera como la transición física del agua del estado líquido al de vapor, en donde la transferencia de masa tiene lugar cuando existe un gradiente de concentración o de presión (Singh y Heldman, 2009).

El secado es una operación que tiende a reducir el contenido de humedad de un producto mayor al 2.5 % y que se lleva a cabo por lo general mediante aire caliente (Ibarz, 2005).

El secado es uno de los métodos más comúnmente utilizado para la preservación de alimentos, sin embargo, involucra ciertas transformaciones tanto físicas como químicas, que en algunos casos son indeseables. En el caso particular de frutas el secado provoca una degradación de nutrientes (Ortiz *et al.*, 2007).

El calentamiento de frutas durante procesos de secado o deshidratación conlleva a cambios significativos en textura, sabor y color debido a su fragilidad de su estructura celular y a la sensibilidad de sus componentes aromáticos e inestabilidad de sus pigmentos (Priestley, 1979).

Los productos hortofrutícolas secados generalmente contienen entre 1 y un 15 % de agua, llegando a su vida útil a ser incluso mayor a un año. (Miranda, 2004).

De acuerdo con su aspecto podríamos clasificar los alimentos deshidratados en los siguientes grandes grupos (CDTI, 1993):

- Polvo soluble: café, leche, etc.
- Polvo dispersable: puré, huevo, etc.
- Producto entero o de pequeño volumen: fruta, verdura, pastas alimentarias.

Las frutas y vegetales frescos, debido a su alto contenido en agua (80 % aproximadamente) son altamente perecederos, las pérdidas se pueden dar del 40 - 50 % en regiones tropicales o subtropicales que no cuenten con medios adecuados para su conservación (Miranda, 2004).

3.8.1 Factores que intervienen en el proceso de secado

Miranda (2004) menciona que, estos son factores que intervienen en el proceso de secado:

- Transferencia de materia

El movimiento de la humedad dentro del sólido es una función de la naturaleza física del sólido, su temperatura y su contenido de humedad.

- Transferencia de energía

La transferencia de energía puede ocurrir por convección, conducción o radiación, o en algunos casos por una combinación de ellos.

- Temperatura del aire

La temperatura desempeña un papel importante en los procesos de secado. En forma general, conforme se incrementa su valor se acelera la eliminación de humedad dentro de los límites posibles.

- Humedad relativa del aire

La humedad relativa del aire se define como la razón de la presión de vapor de agua presente en ese momento, con respecto a la presión de saturación de vapor de agua a la misma temperatura.

- Velocidad del aire

Tiene como función principal, transmitir la energía requerida para calentar el agua contenida en el alimento facilitando su evaporación. En segundo lugar, ayuda a transportar la humedad saliente del material. La velocidad de secado aumenta a medida que incrementa la velocidad de aire que fluye sobre el alimento. A mayor velocidad, mayor será la tasa de evaporación y menor el tiempo de secado.

CAPITULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 Lugar de ejecución

Esta investigación se desarrolló en las instalaciones de la Universidad Nacional José María Arguedas sede Santa Rosa con coordenadas geográficas de (S13°39'02.2698", W73°26'29.9432") que pertenece al distrito de Talavera, provincia de Andahuaylas y Región de Apurímac. La parte experimental se realizó en los laboratorios de química y biotecnología.

4.2 Materiales, equipos y reactivos

4.2.1 Materiales

En la tabla 8 se mencionan los materiales empleados en esta investigación.

Tabla 8. *Materiales de laboratorio.*

Cantidad	Unidad Medida	Descripción	Marca
06	Unid.	Embudo de separación	Pirex
02	Unid.	Cuchillo de acero inoxidable	Tramontina
20	Unid.	Tubos de ensayo	Pirex
02	Unid.	Bureta de 25 ml	VRM
02	Unid.	Varilla de vidrio	Pirex
01	Unid.	Vernier	Stanley
02	Unid.	Mortero con pilón	Schott
02	Unid.	Pisetas	s/m
01	Unid.	Pinzas de laboratorio	s/m
03	Unid.	Pipetas 2, 5 y 10 ml	Fortuna
03	Unid.	Probetas de 100 ml, 50 ml	Kyntel
03	Unid.	Vasos precipitados de 100 ml	Pirex
02	Unid.	Propipetas	DyN
06	Unid.	Matraz Erlenmeyer de 100 ml	Fortuna
01	Unid.	Desecador	s/m
02	Unid.	Soporte Universal metálico	s/m
03	Unid.	Papel filtro, filtro lento	Watman
01	Rollo	Papel de aluminio	Roy
04	Unid.	Cubetas de cuarzo	s/m
01	Unid.	Balde 8 l	Rey plast

4.2.2 Equipos

Los equipos empleados para el desarrollo de la presente tesis se muestran en la Tabla 9.

Tabla 9. *Equipos de laboratorio.*

Cantidad	Unidad Medida	Descripción	Marca
02	Unid.	Termómetro digital	GN, modelo (ISC)
01	Unid.	Balanza analítica de capacidad de 100 g con sensibilidad 0.0001 g	Kern
01	Unid.	Cronómetro digital	Casio
01	Unid.	Anemómetro	Benetech
01	Unid.	Estufa- secador con temporizador, velocidad de aire 1 m/s	Binder
01	Unid.	Espectrofotómetro UV-Visible.	ÚNICO® 2800 UV/VIS Espectrophotometer
01	Unid.	Potenciómetro de mesa	Hanna Instruments
01	Unid.	Refractómetro 0 a 80 ° Brix	RHB

4.2.3 Reactivos

Los reactivos empleados para el desarrollo de esta investigación se muestran en la Tabla 10.

Tabla 10. *Reactivos.*

Cantidad	Unidad Medida	Descripción
50	g	Ácido ascórbico puro 99 %
100	ml	2,6-diclofenol indofenol
5000	ml	Acetona
10	ml	Fenolftaleína
70	g	Acetato de sodio 99.9 %
05	l	Metanol al 99.8% Biopack
05	g	Acido oxálico
50	ml	Oleato de etilo
30	g	Hidróxido de Sodio 0.1N
5	ml	Hipoclorito de sodio al 5.5 %
2000	ml	Etanol 95°

4.2.4 Material vegetal

- Aguaymanto (*Physalis Peruviana L.*) 10 kg cosechada de la estación del INIA-Chumbibamba.

4.3 Material de estudio

- Población

La población fueron los frutos de aguaymanto cultivada por la INIA de Chumbibamba la cual pertenece al distrito de Talavera, provincia de Andahuaylas, departamento de Apurímac. Este sector se encuentra a una altitud de 2840 m.s.n.m. y las coordenadas geográficas son S 13°38'40", W 73°27'20.2", la población fue de 40 kg de aguaymanto.

- Muestra

En el presente trabajo se realizó un muestreo no probabilístico o dirigido en donde la elección de los elementos no depende de la probabilidad sino de la característica de la investigación, por ello en el muestreo se tomó criterios de calidad, homogeneidad en volumen, color, ausencia de daños mecánicos y biológicos, se tomó 10 kg de muestra, aproximadamente.

- Elemento o unidad de análisis

Para la unidad de análisis se emplearon 6 kg de aguaymanto cosechadas de la estación experimental del Instituto Nacional de Innovación Agraria Chumbibamba.

4.4 Tipo de investigación

- Es una investigación aplicada debido al empleo de conceptos teóricos y científicos.
- Es una investigación explicativa según el objeto de estudio debido a que se los resultados obtenidos son sustentados.
- Es una investigación cuantitativa según el tipo de datos empleados
- Es una investigación experimental según la manipulación de variables

4.5 Diseño de contrastación

De acuerdo con los objetivos planteados, se considera una variable independiente, que viene a ser la temperatura que cuenta con 3 niveles. La variable de salida es la velocidad de reacción de degradación del ácido ascórbico y β -caroteno, el orden de reacción y energía de activación se calcularán como dato extra, tal como se aprecia

en la Tabla 11.

Tabla 11. *Matriz de diseño para el secado del aguaymanto.*

Variable independiente		Variable de salida					
		Obj. principal		Obj. secundarios			
Trat.	Replica	Vel. de reac. AA (mmol.l ⁻¹ .h ⁻¹)	Vel. de reac. β-C (mmol.l ⁻¹ .h ⁻¹)	Orden de reacción AA	Orden de reacción β-C	Energía activación AA (kJ/mol)	Energía activación β-C (kJ/mol)
40 °C	1	V _{rAA11}	V _{rβ-C11}	O _{VrAA11}	O _{Vrβ-C11}		
50 °C	2	V _{rAA21}	V _{rβ-C21}	O _{VrAA21}	O _{Vrβ-C21}	E _{aAA11}	E _{aβ-C11}
60 °C	3	V _{rAA31}	V _{rβ-C31}	O _{VrAA31}	O _{Vrβ-C31}		
40 °C	1	V _{rAA12}	V _{rβ-C12}	O _{VrAA12}	O _{Vrβ-C12}		
50 °C	2	V _{rAA22}	V _{rβ-C22}	O _{VrAA22}	O _{Vrβ-C22}	E _{aAA12}	E _{aβ-C12}
60 °C	3	V _{rAA32}	V _{rβ-C32}	O _{VrAA32}	O _{Vrβ-C32}		
40 °C	1	V _{rAA13}	V _{rβ-C13}	O _{VrAA13}	O _{Vrβ-C13}		
50 °C	2	V _{rAA23}	V _{rβ-C23}	O _{VrAA23}	O _{Vrβ-C23}	E _{aAA13}	E _{aβ-C13}
60 °C	3	V _{rAA33}	V _{rβ-C33}	O _{VrAA33}	O _{Vrβ-C33}		

Dónde: V_{rAA} es la velocidad de reacción de degradación del ácido ascórbico, $V_{r\beta-C}$ es la velocidad de reacción de degradación de β -caroteno, O_{VrAA} es el orden de velocidad de reacción de degradación del ácido ascórbico, $O_{Vr\beta-C}$ es el orden de velocidad de reacción de degradación del β -caroteno, E_{aAA} es la energía de activación de degradación del ácido ascórbico y $E_{a\beta-C}$ es la energía de activación de degradación del β -caroteno.

4.6 Metodología experimental

4.6.1 Procedimiento de secado del aguaymanto

El procedimiento para el secado de los frutos de aguaymanto se puede visualizar en la Figura 11 y a continuación se detallan las operaciones realizadas.

a) Selección y clasificación de la materia prima

En esta operación consistió en seleccionar frutos: enteros, con coloración homogénea, presentar aspecto fresco y consistencia firme, su corteza debe ser lisa y brillante, libre de daños mecánicos (cortes, punzones o magulladuras), sanos, libre de humedad externa, extensos de cualquier olor/sabor extraño. Los frutos seleccionados son de categoría extra, calibre C y de color anaranjado, estos criterios están descritos en la NTC 4850 tal como se muestra en el anexo 03.

b) Lavado

Se eliminó todas las impurezas existentes en el fruto, mediante inmersión y frotamientos suaves en solución de hipoclorito de sodio a 200 ppm

c) Descerado

Esta operación consistió en sumergir el fruto de aguaymanto en una solución de hidróxido de sodio al 0.1 % a una temperatura de 50 °C durante 1 min (Aredo *et al.*, 2010), después de la inmersión se procedió a lavar con abundante agua para eliminar el hidróxido de sodio restante.

d) Embandejado

Los frutos de aguaymanto se colocaron de manera ordenada y distribución homogénea, evitando la aglomeración en algunas zonas de la bandeja.

e) Secado

Se llevó a cabo en un secador de bandejas con circulación de aire caliente a 1 m/s, el cual se encendió media hora antes para mantener homogeneidad de distribución de calor y seguidamente se introdujo las bandejas. La temperatura de secado fue a 40 °C, posteriormente se realizó el secado a temperaturas de 50 °C y 60 °C. Se controló el tiempo de secado hasta obtener una humedad de 15 %. En cada intervalo de 2 horas se extrajo 10 g de muestra, para hacer el análisis de contenido de ácido ascórbico y β -caroteno.

f) Enfriado

Después de finalizar el secado de los frutos de aguaymanto se dejó enfriar en el desecador.

g) Envasado

Los frutos de aguaymanto sometidos al proceso de secado se procedieron a embolsarlos para evitar la ganancia de humedad, para ello se empleó bolsas de polietileno de alta densidad.

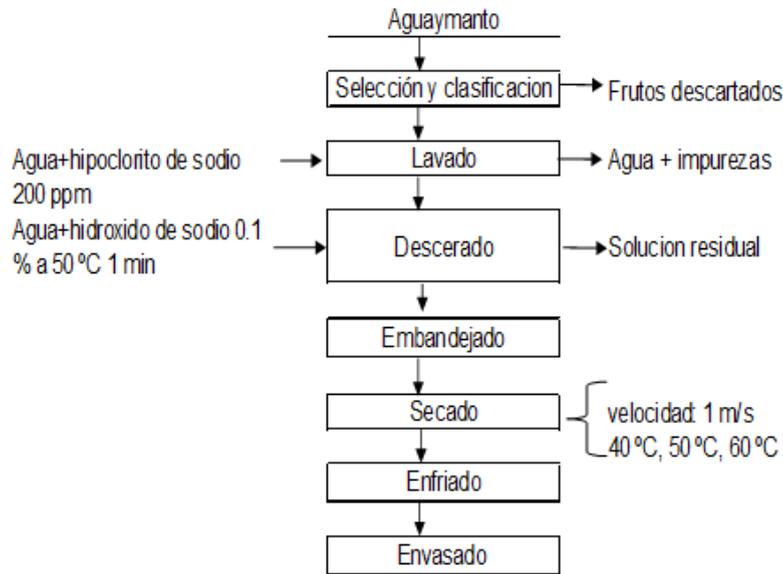


Figura 8 . Diagrama de bloque para el secado de aguaymanto.

4.6.2 Determinación de humedad

La determinación de humedad se desarrolló mediante la metodología descrita por la AOAC (1980). Método 981.05, el cual se basa en la determinación gravimétrica de la pérdida de masa, entre la muestra fresca y la muestra deshidratada.

4.6.3 Determinación de sólidos solubles

Los sólidos solubles están reflejados en los °Brix y se determina mediante el uso del refractómetro (0 - 80) °Brix. esta metodología esta descrita por la AOAC - 2005. Método 932.12.

4.6.4 Determinación de acidez

La determinación de acidez se determinó por titulación volumétrica; acidez valorable total, metodología descrita por la AOAC -2005. Método 942.15. se determinó en las muestras frescas.

4.6.5 Determinación de pH

El pH se determinó mediante la aplicación de la Metodología descrito por (AOAC), Método AOAC 981.12.

4.6.6 Determinación de ácido ascórbico

Para determinar el ácido ascórbico se empleó la metodología planteada por el departamento de Agricultura de Canadá (1987), se aplica para muestras frescas y deshidratadas. Este método se basa en la reducción del colorante 2,6–Diclorofenolindofenol por efecto del ácido ascórbico en solución, el contenido de

ácido ascórbico es directamente proporcional a la capacidad de un extracto de muestra, para reducir una solución estándar de colorante la cual es determinada con un espectrofotómetro.

4.6.7 Determinación de β -caroteno

La determinación de β -caroteno es muestras frescas y deshidratadas se desarrolló según a la metodología planteada de Talcott y Howard (1999), este método se fundamenta en la lixiviación β -caroteno por solventes polares, debido a que, el β -caroteno es lipofílico, insoluble en agua y soluble en solventes orgánicos como éter de petróleo, hexano, etc. (Pénicaud, Achir, Dhuique-Mayer, Dornier, y Bohuon, 2011).

4.6.8 Determinación de la velocidad de reacción

Para determinar la velocidad de reacción se seguirá la metodología planteada por Levenspiel (2004). A continuación, se detalla el procedimiento:

- Los datos de concentración de AA y β -caroteno obtenidos en intervalo de 2 horas, se ajustaron a una orden de reacción cero, primer y segundo. En la Tabla 12 indica los valores de X y Y, los cuales son los datos experimentales.

Tabla 12. *Ajuste para el orden de velocidad de reacción.*

Orden	Ecuación	Eje Y	Eje X
Cero	$C_A = C_{A0} - K_0 t$	C_A	t
Primer	$-\ln\left(\frac{C_A}{C_{A0}}\right) = K_1 t$	$-\ln(C_A)$	t
Segundo	$\frac{1}{C_A} - \frac{1}{C_{A0}} = K_2 \cdot t$	$\frac{1}{C_A}$	t

- Para determinar el orden de reacción y las constantes de velocidad se realizó un análisis de regresión lineal simple.
- Los criterios de selección del orden de reacción fueron en función al valor del Error Medio Cuadrático (EMC) y el coeficiente de regresión (R^2), se busca que el EMC sea cercano a 0 y el R^2 cercano a 1 (Van Boekel, 2008).
- Elegido el modelo se determinó los valores de K (constantes de las velocidades de reacción de degradación) para las tres temperaturas.

- Seguidamente se procedió a calcular la energía de activación (E_a) y K , para ello se graficó los valores determinados de $\ln(K)$ a las tres temperaturas en el eje Y, los valores del eje X será $\frac{1}{T}$ para las tres temperaturas absolutas tal como se muestra en la figura 11.

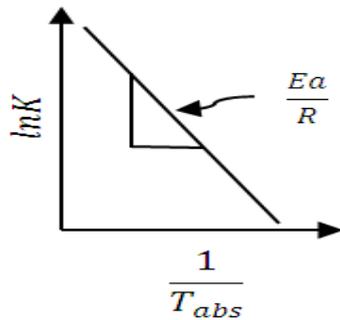


Figura 9. Grafica de $\ln k$ en función $1/T$ absoluta.

- La energía de activación es la pendiente de la relación lineal entre $\ln(K)$ y $1/T$ multiplicada por la constante de universal de gas (R).
- Finalmente, se calculó las velocidades de reacción haciendo uso de la ecuación 16.

4.7 Análisis estadístico

La presente tesis es una investigación experimental con un diseño completo al azar (DCA) con tres repeticiones y se muestra a continuación.

Tabla 13. *Diseño completamente al azar.*

Tratamiento					
40		50		60	
V_{rAA11}	$V_{r\beta-C11}$	V_{rAA21}	$V_{r\beta-C21}$	V_{rAA31}	$V_{r\beta-C31}$
V_{rAA12}	$V_{r\beta-C12}$	V_{rAA22}	$V_{r\beta-C22}$	V_{rAA32}	$V_{r\beta-C32}$
V_{rAA13}	$V_{r\beta-C13}$	V_{rAA23}	$V_{r\beta-C23}$	V_{rAA33}	$V_{r\beta-C33}$

a) Modelo estadístico

El modelo estadístico del DCA para este diseño está dado por:

$$Y_{ij} = \mu + \gamma_i + \varepsilon_{ik} \quad \text{Ecuación 18}$$

Con: $i = 1, 2, 3; k = 1, \dots, n$

Dónde:

μ : Media general.

γ_i : Efecto del tratamiento con su nivel i .

ε_{ik} : Error aleatorio, que se supone que sigue una distribución normal con media cero varianzas constantes $\sigma^2(N(0, \sigma^2))$ y son independientes entre sí.

n : Número de repeticiones en cada tratamiento.

4.7.1 Análisis de varianza para el diseño completamente al azar para la velocidad de reacción de degradación del ácido ascórbico y β -caroteno

El ANOVA es la técnica central en el análisis de datos experimentales. La idea general de esta técnica es separar la variación total en las partes con las que contribuye cada fuente de variación en el experimento. En este caso del DCA se separan la variabilidad debida a los tratamientos y la debida al error.

Las hipótesis se probarán con el ANOVA; la cual está dada por:

$$SC_{TRAT} = \sum_{i=1}^K \frac{Y_i^2}{n_i} - \frac{Y_{..}^2}{N} \quad \text{Ecuación 19}$$

$$SC_E = SC_T - SC_{TRAT} \quad \text{Ecuación 20}$$

Donde:

SC_{TRAT} : Suma de cuadrados de tratamientos.

SC_E : suma de cuadrados del error.

SC_T : Suma de cuadrados totales.

La suma de los cuadrados se obtiene:

$$SC_T = \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^{n_i} Y_{ij}^2 - \frac{Y_{..}^2}{N} \quad \text{Ecuación 21}$$

Tabla 14. ANOVA para el diseño DCA.

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	de Grados de libertad	Cuadrado medio	F _o	Valor – p
Entre los tratamientos	$SC_{TRAT} = \sum_{i=1}^K \frac{Y_{i.}^2}{n_1} - \frac{Y_{..}^2}{N}$	k – 1	$CM_{TRAT} = \frac{SC_{TRAT}}{k - 1}$	$\frac{CM_{TRAT}}{CM_E}$	P(F > F ₀)
Error (dentro de los tratamientos)	$SC_E = SC_T - SC_{TRAT}$	N – k	$CM_E = \frac{SC_E}{N - k}$		
Total	$SC_T = \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^{n_1} Y_{ij}^2 - \frac{Y_{..}^2}{N}$	N – 1			

Fuente: Gutiérrez y De la Vara (2008).

Para el análisis estadístico se empleó la hoja de cálculo MICROSOFT EXCEL 2016 y el software estadístico STATGRAPHICS Centurión XVI Versión 161.1.03 (32-bits).

Se acepta la hipótesis nula si $\alpha < p$ -valué; para un nivel de significancia del 5%.

a) Planteamiento de las hipótesis estadísticas para el ANOVA

Las hipótesis planteadas están en función a las temperaturas de secado ya que estas son las variables.

➤ Para el ácido ascórbico

Hipótesis nula (H₀): La media de la velocidad de reacción de degradación del ácido ascórbico en el secado convectivo de aguaymanto a diferentes temperaturas no presentan diferencias significativas.

Hipótesis alterna (H_A): La media de la velocidad de reacción de degradación del ácido ascórbico en el secado convectivo de aguaymanto a diferentes temperaturas presentan diferencias.

➤ Hipótesis para β – caroteno

Hipótesis nula (H₀): La media de la velocidad de reacción de degradación del β-caroteno en el secado convectivo de aguaymanto a diferentes temperaturas

no presentan diferencias significativas.

Hipótesis alterna (H_A): La media de la velocidad de reacción de degradación del β -caroteno en el secado convectivo de aguaymanto a diferentes temperaturas presentan diferencias.

4.7.2 Prueba LSD o Fisher para la velocidad de reacción de degradación del ácido ascórbico y β -caroteno

Se empleó la prueba de LSD cuando se rechazó la hipótesis nula del ANOVA. Con la prueba de LSD se consiguen comparaciones entre todos los posibles pares de medias.

Para determinar el número de comparaciones se hace uso de la siguiente fórmula:

$$N^{\circ} \text{ de comparaciones} = \frac{T * (T - 1)}{2} = \frac{3 * (3 - 1)}{2} = 3$$

Dónde:

T: Número de tratamientos del experimento en este caso es 3 tratamientos.

En este proyecto se tendrán tres comparaciones en la hipótesis múltiple.

a) Planteamiento de la hipótesis estadística para la prueba LSD

➤ Hipótesis para ácido ascórbico

Hipótesis nula (H_0): La media de los pares de la velocidad de reacción de degradación del ácido ascórbico en el secado convectivo de aguaymanto a diferentes temperaturas no presenta diferencias.

Hipótesis alterna (H_A): La media de los pares de la velocidad de reacción de degradación del ácido ascórbico en el secado convectivo de a diferentes temperaturas presentan diferencias.

➤ Hipótesis para el β -caroteno

Hipótesis nula (H_0): La media de los pares de la velocidad de reacción de degradación del β -caroteno en el secado convectivo de aguaymanto a diferentes temperaturas no presenta diferencias.

Hipótesis alterna (H_A): La media de los pares de la velocidad de reacción de degradación del β -caroteno en el secado convectivo de aguaymanto a diferentes temperaturas presentan diferencias.

Se toma como criterio de aceptación: rechazar la hipótesis nula, si $|Y_i - Y_j| < \text{LSD}$; para un nivel de significancia del 5%.

$$\text{LSD} = t_{\left(\frac{\alpha}{2}; N-K\right)} * \sqrt{\frac{2 * \text{CME}}{n}} \quad \text{Ecuación 22}$$

4.7.3 Para el orden de velocidad de reacción de degradación de ácido ascórbico y β -caroteno

Los parámetros cinéticos fueron determinados mediante métodos de regresión lineal, con transformaciones lineales de la ecuación de orden cero, uno y dos. Las ecuaciones fueron ajustadas usando el programa Excel versión 16.0., los estadísticos empleados para evaluar la bondad de ajuste de los modelos fueron el R^2 y EMC.

CAPITULO V: RESULTADOS Y DISCUSIONES

5.1 Determinación de las propiedades fisicoquímicos de fruto de aguaymanto fresco

En la Tabla 15 se muestran las características fisicoquímicas determinadas en el fruto de aguaymanto.

Tabla 15. *Propiedades fisicoquímicas del aguaymanto cultivada en la unidad vecinal de Chumbibamba.*

Propiedades	Valor ($\bar{X} \pm s$)
Humedad (%)	80.31 \pm 0.23
Acidez (g ácido cítrico/ 100 g de muestra)	1.74 \pm 0.04
Sólidos solubles (°Brix)	14.35 \pm 0.08
pH	3.79 \pm 0.04
Índice de madurez	8.24 \pm 0.12

El índice de madurez es la división entre los sólidos solubles y la acidez del fruto.

Las muestras de aguaymanto analizadas contenían 80.31 \pm 0.23 % de humedad. Esto corrobora que los frutos de aguaymanto cultivadas en Perú tienen un alto contenido de humedad y coincide con los valores reportados por; Contreras (2015), Huachuillca (2017), Repo de Carrasco y Encina (2008), Huaman y Ninahuanca (2015), y Díaz (2018), que fue del 79,8%, 80.73 \pm 0.64%, 78.94 \pm 0.48%, 82.28% y 79.97 \pm 0.02 % de humedad, respectivamente.

En otros países, el contenido de humedad en muestras de aguaymanto reportados por: Castro, Rodríguez y Vargas (2008), Puente, Pinto, Castro y Cortés (2011) citó a Osorio y Roldan (2003), y Fisher *et al.* (2000), es el 87%, 85.9 % y 85.5%, respectivamente. En comparación con las muestras cultivadas en Perú y obtenidos en el presente trabajo, son ligeramente mayores.

Posiblemente, uno de los motivos de la diferencia de humedad, es porque las frutas sin cáliz tienen una mayor tasa de respiración, que los frutos protegidos por el cáliz adjunto (Villamizar *et al.*, 1993), asimismo el cáliz intacto genera niveles más bajos de etileno, que actúa como un promotor del ablandamiento de la fruta, como consecuencia del debilitamiento de la pared celular causado por la actividad de las hidrolasas (Fischer y Bennett, 1991).

La acidez en la muestra de aguaymanto fue 1.74 \pm 0.04 g ácido cítrico/100 g de muestra, investigaciones desarrolladas por; Restrepo (2008), Botero (2008), Marín (2009) citado por Puente *et al.* (2011), Huachuillca, (2017), y (Contreras, 2015)

obtuvieron resultados de $2.10 \pm 0.0.26$, 1.90 ± 0.26 , 2.05 ± 0.15 , 1.73 ± 0.11 y 1.76 ± 0.21 g ácido cítrico/100 g de muestra, respectivamente. Los cuales, son muy parecidos a los obtenidos en esta investigación.

Otras investigaciones desarrolladas en tres ecotipos de aguaymanto; Kenia, S. África, y Colombia cultivados a 2300 y 2690 m.s.n.m. contienen 1.625, 2.1327 y 2.2962 g ácido cítrico/100 g fruto, respectivamente, también concluyen que la altitud influye en la concentración de ácido cítrico en las frutas de aguaymanto para ($p < 0.05$), a mayor altura la acidez es alta (Fischer, Ebert, y Lüdders, 2000).

Las muestras de aguaymanto analizadas poseían 14.35 ± 0.08 °Brix, este valor obtenido es similar a los reportados por; Repo de Carrasco y Encina (2008), Huaman y Ninahuanca (2015), Restrepo (2008), Botero (2008), Marín (2009) citado por Puente *et al.* (2011), Huachuhuillca (2017), Ponce y Rodríguez (2014) y Contreras (2015) reportaron los valores de 13.4 ± 0.2 , 13.790, 13.80 ± 0.32 , 13.73 ± 0.49 , 14.30 ± 0.80 , 14.17 ± 0.20 , 14.73 y 13.50 ± 0.17 °Brix, por lo que, los resultados obtenidos son coherentes ya que, se encuentran en los rangos indicados.

En las muestras de aguaymanto se determinaron un pH de 3.79 ± 0.04 . Repo de Carrasco y Encina (2008), Huaman y Ninahuanca (2015), Restrepo (2008), Botero (2008), Marín (2009) citado por Puente *et al.* (2011), Huachuhuillca (2017), Ponce y Rodríguez, (2014) y Contreras (2015) reportaron valores de 3.43 ± 0.01 , 4.095, 3.39 ± 0.06 , 3.67 ± 0.12 , 3.39 ± 0.06 , 3.94 ± 0.16 , 3.59 y 3.83 ± 0.32 . Por lo tanto, los valores obtenidos están dentro de los valores reportados por investigadores previamente ya mencionados. Asimismo, el pH en la mayoría de las frutas tropicales se encuentra en intervalo de 2.6 a 5.8, el pH es un parámetro importante para el control de microorganismos responsables de las actividades enzimáticas.

El índice de madurez en la muestra analizada fue de 8.24 ± 0.12 . Según la NTC 4580 clasifica en 6 grados de madurez, el índice de madurez más bajo es 3.5 que corresponde al color 0 (fruto fisiológicamente desarrollado, color verde oscuro) y el índice más alto es 6 (fruto de color anaranjado intenso). Las muestras de aguaymanto analizadas tienen un índice de madurez 5, debido a que se encuentra dentro del intervalo 8.1 a 9. El índice de madurez es un poco mayor que los reportados por Restrepo (2008), Botero (2008), Marín (2009) citado por Puente *et al.* (2011), Huachuhuillca (2017) y Contreras (2015) reportaron valores de 6.57, 7.23, 6.98, 8.19, 7.67 ± 0.80 , es debido a que las muestras analizadas contenían elevado sólidos solubles. Mendoza, Rodríguez, y Millán (2012) caracterizó los ecotipos de aguaymanto, donde predominaron lotes con grado de maduración 5 en un 43.3 %

seguido por lotes con maduración 4 en 38.7 % y solo el 17.8 % pertenecían a lotes con maduración 6. Por ello, se seleccionaron muestras de estado de madurez 5 tomándose criterios de volumen y color; sin embargo, la selección visual puede causar errores.

Finalmente, la diferencia entre los resultados obtenidos experimentalmente y los citados, podría deberse a la variación del origen, ecotipo, estado de madurez, clima, ubicación geográfica, manipulación postcosecha y almacenamiento del aguaymanto (Fischer et al., 2000). Además, las plantas producen fruto durante todo el año en áreas libres de heladas (National Research Council, 1989), las primeras flores a menudo se sacrifican para asegurar el establecimiento de plantas fuertes y saludables, la eliminación de las primeras flores evita el agrietamiento de la fruta cuando se forman pocas pero grandes frutas en la parte inferior de la planta (Fischer, 2005), los frutos pueden variar en composición y tamaño en función al estado de cosecha de la planta.

5.2 Determinación del ácido ascórbico y β -caroteno en muestras frescas de aguaymanto cultivadas en la unidad vecinal de Chumbibamba

En la Tabla 16, se muestran los resultados de las concentraciones de ácido ascórbico y β -caroteno, determinados en las muestras frescas de aguaymanto cultivada en la unidad vecinal de Chumbibamba.

Tabla 16. *Contenido de ácido ascórbico y β -caroteno.*

Compuesto	Valor ($\bar{X} \pm s$)
Ácido ascórbico (mg AA/ 100 g de muestra)	41.569 \pm 0.738
β -caroteno (mg β -caroteno/ 100 g de muestra)	2.326 0.078

El contenido de ácido ascórbico en las muestras frescas fue de 41.569 \pm 0.738 mg de AA/100 g (215.4 mg/100 g b.s.), valores similares fueron reportados por; El-Beltagi, Mohamed, Safwat, Gamal y Megahed (2019), Repo de Carrasco y Encina (2008), Ramadan y Mörsel (2004), National Research Council (1989), Velasquez y Velasquez (2017), siendo el 42.5, 43, 43.3 \pm 0.5, 43, 43 y 35.34 \pm 0.05 a 41.73 \pm 0.04 mg/100 g fruto fresco (estado de madurez 5, sembrado en Huaribamba-Huancavelica), respectivamente; No obstante, Contreras (2015), reportaron valores más altos de 48.70 \pm 0.25 mg/100 g muestra fresca.

Fischer, Ebert y Lüdders (2000) mencionan que, tanto el ecotipo y la altitud no tienen influencia ($p < 0.05$) en el contenido de ácido ascórbico en el aguaymanto; mientras que Burgos, Auqui, Amoros, Salas, y Bonierbale (2009) afirman que, la concentración de ácido ascórbico en los alimentos varía significativamente debido a la interacción genotipo y ambiente, esta afirmación podría cumplirse para el aguaymanto.

Friedrich *et al.* (1986) menciona que la síntesis del ácido ascórbico es promovida por la radiación solar y para árboles frutales la baja temperatura induce al incremento de la producción del ácido ascórbico, Kader (1992) reporta alto contenido de ácido ascórbico en fresas que crecieron en expuestas a altas intensidades de luz; Sin embargo, el efecto directo de la radiación podría ser limitada por el cáliz durante todo su desarrollo Rosenfeld (1979), los tres autores mencionados fueron citados por Fischer *et al.* (2000).

En la tabla 16 se observa que la concentración de β -caroteno fue de 2.326 ± 0.078 mg β -caroteno/ 100 g base húmeda en las muestras de aguaymanto analizadas. Huaman y Ninahuanca (2015), Velasquez y Velasquez (2017) y Málaga (2013) citado por Huachuillca (2017) y Osorio y Roldan (2003) citado por Puente *et al.* (2011) determinaron concentraciones de 2.350, 2.26 ± 0.03 a 2.54 mg β -caroteno/ 100 g (índice de madurez 5 sembrada en Acomayo – Huánuco), 2.58 ± 0.44 mg/100 g muestra y 1730 U.I. (3.114 mg β -caroteno/100 g muestra) respectivamente, estos valores son similares a los resultados obtenidos; Sin embargo, diversas investigaciones reportaron concentraciones menores: National Research Council (1989) y CCI (1994) citado por Puente *et al.* (2011), valores de 1.460 mg/100 g pulpa y 1.166 mg β -caroteno/100 muestra base húmeda.

Así mismo, Fischer *et al.* (2000) concluyeron que la altitud sí tiene influencia significativa ($p < 0.05$) sobre el contenido del β -caroteno y la concentración es mayor a menor altitud, la temperatura y la intensidad de luz tienen una gran influencia en el contenido de carotenoides; es decir, a temperaturas altas, baja altitud e intensidades mayores de luz son factores ambientales importantes para mejorar la síntesis del β -caroteno, también se debe considerar los otros requerimientos de las plantas; nutrientes, agua, presencia de patógenos, que corresponden al manejo de cultivo (que puedan facilitar incremento de síntesis de clorofila), manejo postcosecha de los frutos.

5.3 Determinación de la cinética de degradación del ácido ascórbico en el aguaymanto cultivado en la unidad vecinal de Chumbibamba

para determinar el orden de reacción, es necesario conocer la cinética de degradación del ácido ascórbico frente a la variación de la temperatura, en la Figura 10 se muestra el grafico del comportamiento del ácido ascórbico durante el proceso de secado del aguaymanto a tres niveles de temperatura 40, 50 y 60 °C.

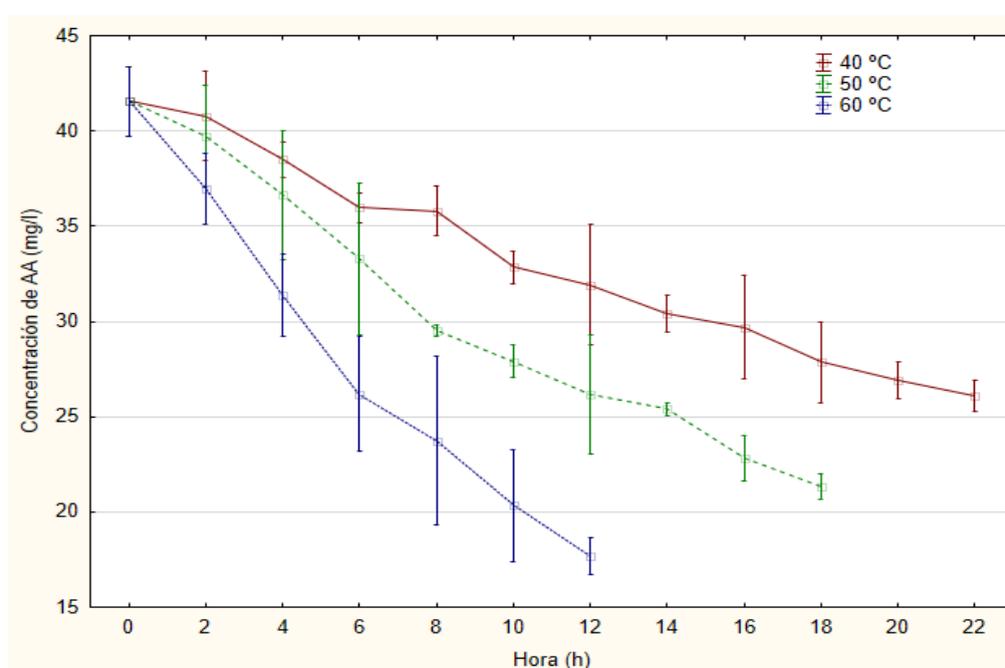


Figura 10. Evolución de la concentración del ácido ascórbico durante el secado a 40, 50 y 60 °C.

Se observa la degradación progresiva del ácido ascórbico en función al tiempo de secado a 40, 50 y 60 °C, partiendo de una concentración inicial de 41.56 ± 0.73 mg de ácido ascórbico/100 g de muestra hasta llegar al 17 % de humedad fue de 26.11, 21.35, 17.68 mg /100 g respectivamente. Por lo tanto, la pérdida del ácido ascórbico en frutos de aguaymanto fue del 37.19, 48.64 y 57.47 %, respectivamente, valores similares fueron reportados por (Contreras, 2015).

Juntamay (2010) señala que, en el secado de aguaymanto hasta una humedad de 12.36 % b.h. a 60 °C, 70 °C y 80 °C, con una duración del 3.45 h, 2.15 horas y 2 h, causa una degradación del 39, 32.15, 68.39 %, respectivamente. En el secado convectivo de cuartos de tomate de 60 a 100 °C hasta una humedad de menor al 15 % b.h., el tiempo de secado fue de 20 a 5 h, con una pérdida de ácido ascórbico del 75.12 % (60 °C) y 92.78 % (100 °C) (Demiray, Tulek, y Yilmaz, 2013). En contraste, con los resultados obtenidos, el tiempo de secado disminuye con el incremento de la temperatura de aire (Horuz, Bozkurt, Karataş, y Maskan, 2017), la

pérdida del contenido de ácido ascórbico aumentó con el incremento de la temperatura del aire.

Una posible explicación podría ser la reacción oxidativa irreversible que ocurre durante el secado (Djendoubi, Boudhrioua, Kechaou, Courtois, y Bonazzi, 2012). El incremento de la temperatura ocasiona la oxidación del ácido ascórbico a la forma dehidroascórbico (DHAA), hidrólisis del DHAA al ácido 2,3-dicetogulónico y la generación por polimerización de productos inactivos nutricionalmente (Dewanto, Wu, and Liu, 2002) Citado por (Ordóñez-Santos, Ospina, y Rodríguez, 2013).

Junqueira *et al.* (2017) reportó una duración de 640 min (10.67 h) y 450 min (7.5 h), para muestras sin pretratamiento y con pretratamiento de oleato de etilo, teniendo una pérdida de ácido ascórbico del 77.37 % (sin pretratamiento) y 53.8 % (con pretratamiento), el empleo de pretratamiento en las muestras reduce el tiempo de secado. La humedad final del producto es baja en comparación con los resultados obtenidos y a pesar de ello la degradación del ácido ascórbico fue menor.

La degradación del ácido ascórbico es mayor cuando el contenido de humedad es relativamente alta, seguida de un periodo de degradación lenta a medida que el contenido de humedad disminuye (Erenturk, Gulaboglu, y Gultekin, 2005). La máxima tasa constante de degradación sucede cuando el contenido de humedad se encuentra entre 65 y 75 % (Goula y Adamopoulos, 2006), el ácido ascórbico disminuye lentamente a humedades <20-30 % (Djendoubi, Boudhrioua, Kechaou, Courtois, y Bonazzi, 2012; Gutiérrez, Hoyos, y Cuervo, 2016). En el caso del aguaymanto, la pérdida de humedad está limitada por la cera que recubre el fruto, dotando una baja permeabilidad a la epidermis, impidiendo el flujo de agua a través de esta, a pesar de que el área del pedúnculo (ruptura de cáliz), tiene una microestructura porosa y esto facilita la transferencia de masa del interior (Puente *et al.*, 2011). No obstante, esta área es pequeña en comparación con el área total del fruto, esta condición se elimina o reduce mediante el empleo de pretratamientos de inmersión en soluciones de hidróxido de sodio, oleato de etilo, bicarbonato de sodio, entre otros (Bingol, Roberts, Balaban, y Devres, 2012 citado por Junqueira *et al.*, 2017; Doymaz y Özdemir, 2014; Díaz, 2018). En este presente trabajo de investigación se empleó hidróxido de sodio al 0.1 %, y a pesar de ello el tiempo fue prolongado, esto podría ser debido a la baja concentración de solución empleada.

La degradación se incrementa por el aumento de las tasas de oxígeno presente en el medio o mezcla de aire (Erenturk *et al.*, 2005). La oxidación del ácido ascórbico será mayor cuando la superficie del fruto este en rodajas o peladas y se encuentre

en contacto directo con el aire; sin embargo, en esta investigación los frutos conservaron la epidermis, por lo que podría limitar la acción del oxígeno. La humedad relativa no es una variable en esta investigación, debido a que, a temperaturas de 65, 70 y 75 °C o mayores, el incremento de la humedad relativa genera una mayor degradación del ácido ascórbico, esto podría ser que a mayor humedad relativa, el tiempo de secado es mayor para alcanzar la humedad objetivo Santos y Silva (2008).

5.5.1 Determinación del orden de reacción de degradación del ácido ascórbico en el secado del aguaymanto

En la Figura 11, 12 y 13 se muestran los resultados del ajuste lineal de la degradación del ácido ascórbico.

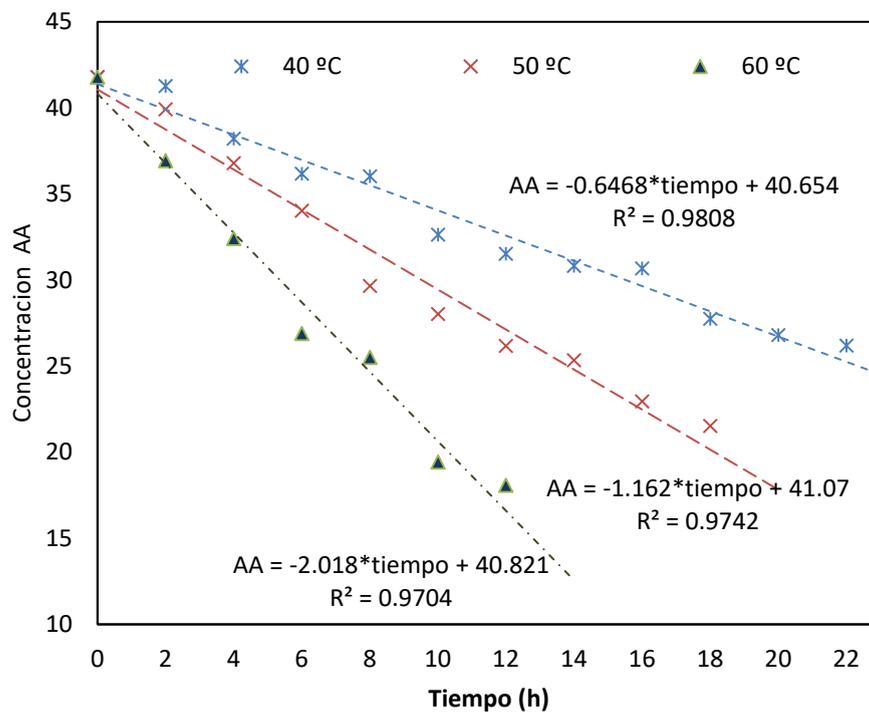


Figura 11. Ajuste lineal de orden 0 de la concentración de AA observados.

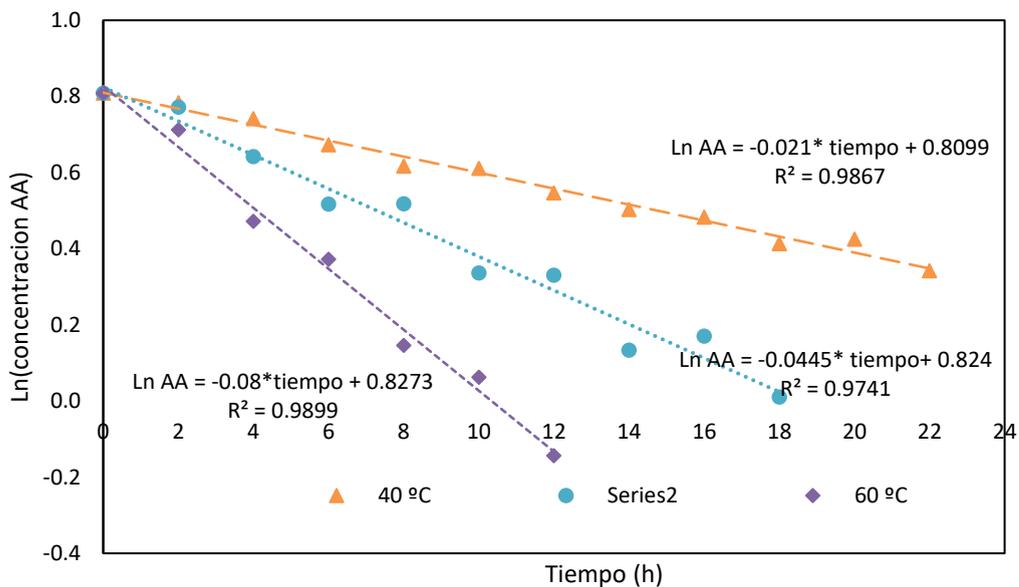


Figura 12. Ajuste lineal de orden 1 de la concentración de AA.

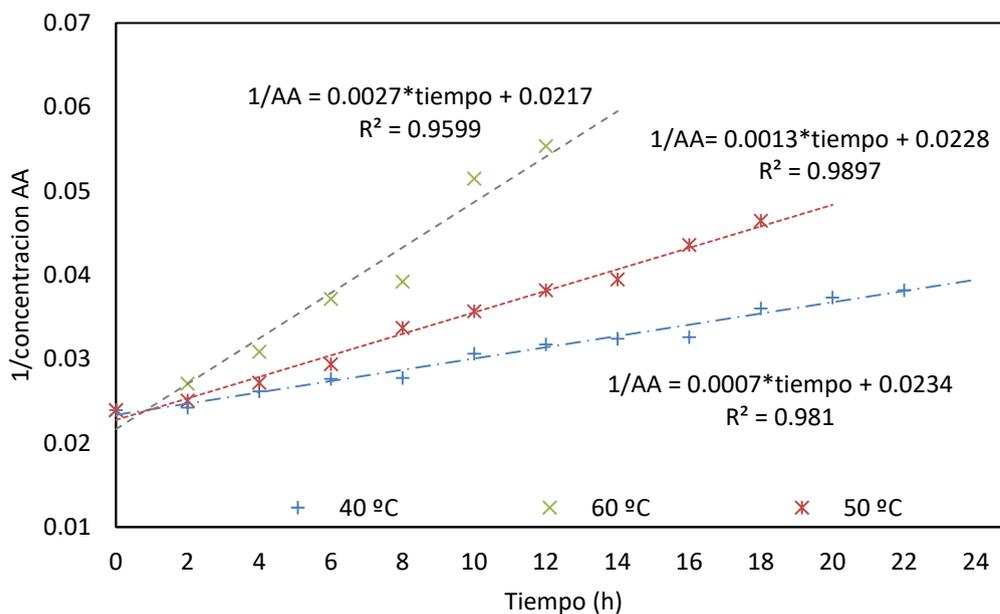


Figura 13. Ajuste lineal de orden 2 de la concentración de AA observados.

El orden de la velocidad de reacción de degradación del ácido ascórbico en el secado de aguaymanto a 40, 50 y 60 °C sigue una cinética de primer orden. La mayoría de las publicaciones sobre la degradación del ácido ascórbico reportan que sigue una degradación de primer orden, independientemente del alimento o medio, rango en la temperatura y escala de tiempo (Peleg, Normand, Dixon, y Goulette, 2018). Reportándose en alimentos como: aguaymanto (Contreras, 2015); tomates (Demiray et al., 2013; Goula y Adamopoulos, 2006), guayaba

(Chua, Chou, Ho, Mujumdar y Hawlader, 2000; Ordóñez-Santos, Ospina, y Rodríguez, 2013), rosas mosquetas entera (Erenturk et al., 2005) y entre otros; Sin embargo, Bingol, Roberts, Balaban, y Devres (2012) reportó que la cinética de reacción de degradación de ácido ascórbico es de orden cero.

La cinética de orden cero se emplea cuando la velocidad de degradación es muy baja, la curva de degradación puede parecer lineal al menos visualmente (Romero, 2008; Peleg, Normand, Dixon, y Goulette, 2018). El orden cero generalmente es para reacciones de descomposición donde se forma una pequeña cantidad de producto (Van Boekel, 2008). Sin embargo, mencionan que la cinética de degradación de orden cero, para pérdidas mayores del ácido ascórbico expuesta a altas temperaturas y varios niveles de actividad de agua (Peleg et al., 2018), en la reacción orden 2 la velocidad es muy alta a concentraciones elevadas, agotando fácilmente el reactante y llegando a un límite donde prácticamente la velocidad es mínima y/o considerada como constante. Las reacciones de orden uno la velocidad de degradación no es constante, es decir, a mayor concentración de reactante la velocidad se incrementa y disminuye con el descenso de la concentración (Romero, 2008).

(Van Boekel, 2008) menciona que, la forma de obtener de manera más precisa los parámetros cinéticos es mediante métodos de regresión no lineal, sin linealizar las ecuaciones; Sin embargo, para los datos experimentales obtenidos el ajuste lineal es el que brinda mejor resultado, que el ajuste exponencial.

La selección del modelo se realizó en función a los criterios de bondad de ajuste como el coeficiente de determinación R^2 y EMC. El modelo tendrá un mejor ajuste cuando R^2 sea > 0.9 (Junqueira et al., 2017). El R^2 del modelo de orden 1 es 0.98921 ± 0.00344 y el EMC es 0.5307 ± 0.14345 , mientras que los otros modelos tuvieron valores relativamente bajos de R^2 y más altos de EMC, tal como se muestra en la Tabla 17, Asimismo en la predicción del modelo ya aplicando la corrección de la constante de velocidad por la temperatura el E% (1.59583 ± 0.56523) y El EMC es 0.374 ± 0.206 . Valores inferiores 5 del E (%) indican un excelente ajuste del modelo matemático, mientras que los valores superiores a 10 son indicativos de un ajuste deficiente (Kaushal y Sharma, 2016).

Tabla 17. *Criterios de bondad de ajuste de los diferentes modelos.*

Orden de reacción	R ²	EMC
0	0.97213 ± 0.00542	2.32842 ± 2.18198
1	0.98921 ± 0.00344	0.5307 ± 0.14345
2	0.97812 ± 0.00987	1.7778 ± 0.77775

5.5.2 Determinación de las constantes cinéticas

La constante de velocidad de degradación del ácido ascórbico determinadas a 40, 50, 60 °C, fue de 0.02203 ± 0.00015 , 0.03780 ± 0.00072 y 0.07220 ± 0.00010 h⁻¹, tal como se muestra en la Tabla 18. Las constantes de velocidad de reacción de degradación del ácido ascórbico a 40 °C < 50 °C < 60 °C. No obstante, algunas investigaciones que desarrollaron a temperaturas más altas y reportaron valores mayores de las constantes y esto es corroborado en esta investigación.

En el secado de frutos de guayaba de 75 a 95 °C, las constantes de la velocidad de degradación del ácido ascórbico a 75, 85 y 95 °C, fue de 0.8, 1.2 y 1.45 h⁻¹ (Ordóñez-Santos et al., 2013). Asimismo, investigaciones en pulpa de aguaymanto reportaron que las constantes de degradación a 60 °C hasta 85 °C es 0.00276 min^{-1} (0.1656 h^{-1}) a 0.01198 min^{-1} (0.7188 h^{-1}) (Salome, 2017), esto son valores muy superiores a los obtenidos, ello es debido a que las muestras tenían una mayor exposición.

Tabla 18. *Constantes cinéticas de degradación del ácido ascórbico.*

Constante de la cinética de degradación	Temperatura		
	40 °C	50 °C	60 °C
K ₁ (h ⁻¹)	0.0219	0.037	0.0722
K ₂ (h ⁻¹)	0.022	0.038	0.0721
K ₃ (h ⁻¹)	0.0222	0.0384	0.0723

5.5.3 Cálculo de la energía de activación de degradación del ácido ascórbico frente a la temperatura

La dependencia de la velocidad de reacción en relación con la temperatura se calcula mediante la ecuación de Arrhenius, descrita en ecuación 16 y en la Figura 14 se puede visualizar el ajuste lineal del modelo.

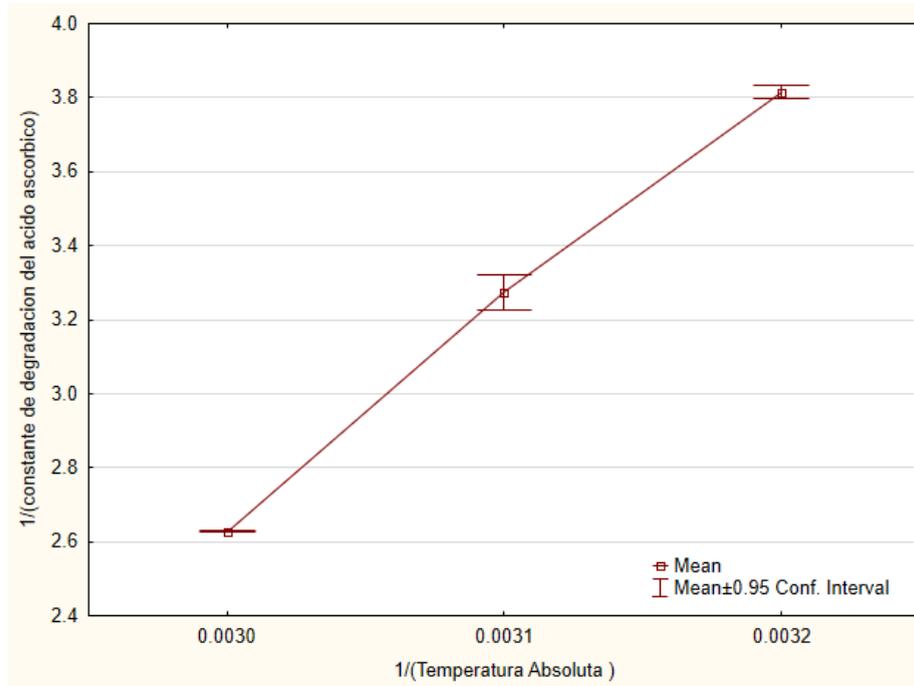


Figura 14. Gráfica de Arrhenius

En la tabla 19 se muestra los valores de la constante de la ecuación y estos vienen a ser el factor de frecuencia y la energía de activación de degradación del ácido ascórbico a 40, 50 y 60 °C.

Tabla 19. Constantes de la ecuación de Arrhenius.

Parámetro	$\bar{X} + S$
A (h ⁻¹)	81.19x10 ⁵ ± 6.88 x10 ⁵
E _α (kJ/mol)	51.41226 ± 0.25211

Donde: A es el factor de frecuencia y E_α la energía de activación.

El factor de frecuencia tiene un promedio de 81.19x10⁵ ± 6.88 x10⁵ h⁻¹ y la energía de activación es 51.41226 ± 0.25211 kJ/mol.

La dependencia de la constante de velocidad de degradación del ácido ascórbico respecto a la temperatura $k = (T)$ se pueden expresar mediante la siguiente ecuación:

$$k = 81.19 \cdot 10^5 \cdot \exp\left(\frac{51.41226 \cdot 10^3}{R \cdot T}\right) \quad \text{Ecuación 23}$$

Siendo; $R=8.3145$ J/mol·K y T es la temperatura absoluta (K).

La energía de activación es la cantidad mínima de energía requerida por las moléculas para reaccionar, si la energía de la colisión es menor que la energía de activación, las moléculas de los reactivos no podrán sobrepasar la barrera y tras colisionar los enlaces permanece inalterados; pero si, la energía de colisión es mayor que la energía de activación, los reactivos serán capaces de reorganizar sus enlaces y convertirse en productos. Por lo que a mayor temperatura implica mayor energía cinética de las moléculas. Entonces, se podría decir que; la energía de activación es una medida de la sensibilidad de la reacción a la temperatura, a menor energía de activación será mayor la sensibilidad a la degradación (Peleg et al., 2018).

Valor similar fue reportado por Contreras (2015) quien indica que la energía de activación es 54.0284 kJ/mol para la degradación térmica del ácido ascórbico en el secado de aguaymanto de 40 a 60 °C. Mientras que, Demiray *et al.* (2013) indica que la energía de activación es 46.99 kJ/mol para temperaturas de secado de 60 a 100 °C.

Mientras que, Erenturk *et al.* (2005) menciona que la dependencia de la constante de velocidad de reacción de degradación con referente a la temperatura se podría describir mediante la ecuación de Arrhenius, mientras que A y E_a tienen una funcionalidad de la humedad del producto, la energía de activación de degradación de ácido ascórbico a temperaturas de secado de 40 °C a 60 °C es de 55.3306 ± 03236 kJ/mol.

En general los valores reportados de la energía de activación para la degradación del ácido ascórbico en varios alimentos de mayor consumo se encuentran en el rango de 10-80 kJ/mol. Es importante mencionar que el significado físico de cualquier valor de energía de activación obtenido mediante la pendiente de un gráfico de Arrhenius no es claro, por lo cual es necesario que se confirme mediante una determinación experimental o una teoría convincente de que el modelo Arrhenius se aplica (Peleg et al., 2018).

5.6 Determinación de la velocidad de reacción de degradación del ácido ascórbico

En Tabla 20 se muestra el resultado de la velocidad de reacción de degradación del ácido ascórbico en el secado del fruto de aguaymanto.

Tabla 20. *Velocidad de reacción de degradación del ácido ascórbico.*

Tratamiento	Velocidad de reacción ($\text{mmol} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)
40 °C	0.07949 ± 0.00093
50 °C	0.14644 ± 0.00128
60 °C	0.26008 ± 0.00155

La velocidad de reacción de degradación viene a ser la rapidez con la que un compuesto se degrada en una masa, volumen o masa determinado (Levenspiel, 1981). Las velocidades de reacción de degradación del ácido ascórbico a 40, 50 y 60 °C fueron 0.07949 ± 0.00093 , 0.14644 ± 0.00128 y 0.26008 ± 0.00155 $\text{mmol} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ respectivamente.

Los resultados del ANOVA de la Tabla 21 muestran que existe diferencia estadísticamente significativa ($p\text{-value} < 0.05$) entre las velocidades reacción de degradación del ácido ascórbico en el secado a 40, 50 y 60 °C. Asimismo, mediante la comparación múltiple LSD (véase anexo 03) con 95 % de confianza, en ella se aprecia que existe diferencia estadística significativa entre los pares de velocidades de reacción de degradación del ácido ascórbico, en la figura 30 se observa que la velocidad de reacción de degradación del ácido ascórbico secado a $40^\circ \text{C} < 50^\circ \text{C} < 60^\circ \text{C}$, por la tanto la velocidad de reacción de degradación del ácido ascórbico es mayor al incrementar la temperatura. Este valor es debido a que la velocidad de reacción es directamente proporcional a la concentración y la constante de velocidad de degradación del ácido ascórbico, por ello, para discutir se emplea los valores constantes de degradación del ácido ascórbico y con estos valores se calcula la velocidad de reacción de degradación los datos para los cálculos se muestra en el anexo 06, usando los datos de Demiray *et al.* (2013) se obtiene una velocidad de $0.2803 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ para el secado de cuartos de tomate a 60 °C; mientras que, con los valores de Da Silva (2005) se obtiene velocidades de reacción de degradación de ácido ascórbico de 0.1606, 0.1869 y 0.2836 $\text{mmol} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ para secado de Camu-camu a 50, 60 y 70 °C.

Tabla 21. ANOVA para velocidad de reacción de degradación del ácido ascórbico.

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F cal.	p-value*	F crit.
Entre grupos	0.050	2	0.025	15187.36	0.000	5.143
Dentro de los grupos	9.89E-06	6	1.65E-06			
Total	0.0500	8				

* para un nivel de significancia del 5%.

5.7 Determinación de la cinética de degradación del β -caroteno durante el secado del aguaymanto cultivado en la unidad vecinal de Chumbibamba

En la Figura 16, se observa la variación del contenido del β -caroteno en las muestras de aguaymanto sometidas al proceso de secado a 40, 50 y 60 °C. Al igual que el caso del ácido ascórbico, en las primeras horas de secado la concentración de β -caroteno desciende levemente, posteriormente a ello la degradación sucede a mayor intensidad, y a medida que disminuye la humedad o prolonga el tiempo las degradaciones del β -caroteno también lo hace. Partiendo de una concentración inicial de 2.32562 mg hasta 1.46454 ± 0.06174 , 1.05139 ± 0.04044 , 0.90233 ± 0.03360 mg β -caroteno, respectivamente. Por lo tanto, las pérdidas se dieron en 37.036 ± 0.728 , 54.796 ± 0.255 y 61.204 ± 0.158 %. Haciendo una comparación entre las pérdidas de los compuestos analizados en este presente trabajo de investigación la pérdida del ácido ascórbico fue ligeramente mayor en el secado a 40 °C, mientras que el secado a 50 y 60 °C la pérdida del β -caroteno fue más alta.

Castro *et al.* (2008) menciona que, en el secado del aguaymanto a 40, 50 y 60 °C con pretratamiento de deshidratación osmótica con sacarosa, la pérdida del β -caroteno fue del 95, 96 y 98 %, respectivamente. Mientras que los frutos de aguaymanto sin pretratamiento secadas a 40, 50 y 60 °C la degradación del β -caroteno es del 28, 41 y 43 %, respectivamente, la duración del secado es de 7, 9 y 12 h. Los resultados obtenidos en este presente trabajo muestran mayor degradación del β -caroteno, esto podría deberse al proceso prolongado de secado.

En el secado a 70 °C de la guayaba (*Psidium cattleianum Sabine*) y arrayan (*Myrcianthes pungens*) la pérdida del β -caroteno fue del 71.9 y 51.3 % (Nora et al., 2014), en el secado de rodajas de tomate a 50, 60 y 70 °C, con una duración de

6 h. La pérdida de β -caroteno fue en 42.43, 43.38 y 41.16 % (Azeez, Adebisi, Oyedeji, Adetoro, y Tijani, 2019).

Mientras que, Demiray *et al.* (2013) reportó que el secado de cuartos de tomate a 60 - 100 °C con una duración de 20 a 8 h, teniendo pérdidas del 81 al 96 %. Asimismo, otras investigaciones mencionan que el incremento de temperatura genera una mayor degradación del β -caroteno; como es el caso de las muestras de albaricoco secadas a 50, 60, 70 y 80 °C obtuvieron pérdidas de β -caroteno del 87-89 %, 57-60 %, 27-38 % y 27-34 %, respectivamente, para muestras sulfuradas y no sulfuradas. En el secado a 50 °C sucede una mayor degradación β -caroteno, la duración del que fue de 33.75 a 55 h (Karabulut, Topcu, Duran, Turan, y Ozturk, 2007). Se puede observar que existe menor pérdida del β -caroteno a temperaturas altas, esto es probablemente debido al incremento de la solubilidad del β -caroteno a altas temperaturas que permiten la fácil extracción de la matriz del alimento, al igual que sucede en el licopeno (Pénicaud *et al.*, 2011), pero toda esta afirmación, no es certera ya que en el tratamiento térmico a 92 °C por 10 min la degradación del β -caroteno en frutos de albaricocos, guindas, nectarina, ciruelas, zanahorias y ají es del 32, 100, 66.7, 25, 31.8, 126 % (Leong y Oey, 2012). Por lo que, la degradación del el β -caroteno varía en función de la matriz alimentaria y las condiciones del procesamiento, que ya se mencionó previamente (Pénicaud *et al.*, 2011).

En comparación de la degradación del β -caroteno entre el secado y la degradación térmica en los jugos o pure de aguaymanto, que en general son más altas, esto podría ser, por la pérdida de la integridad del tejido, mayor contacto con el oxígeno y la luz, y la elevación de la temperatura durante el tratamiento térmico aumentan drásticamente las tasas de reacciones de degradación Bechoff, 2010 citado por (Pénicaud *et al.*, 2011).

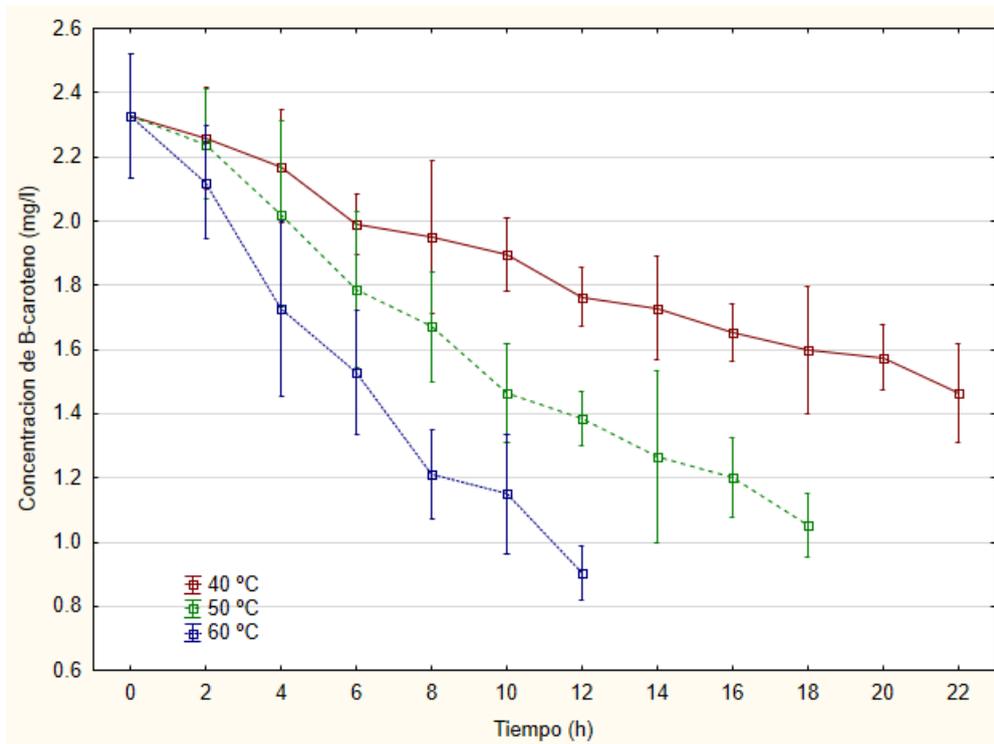


Figura 15. Evolución de la concentración del β -caroteno durante el secado a 40, 50 y 60 °C.

5.7.1 Determinación de la orden de reacción

En las Figuras 19, 20 y 21 se observa el ajuste lineal de datos experimentales, con sus respectivos coeficientes de correlación.

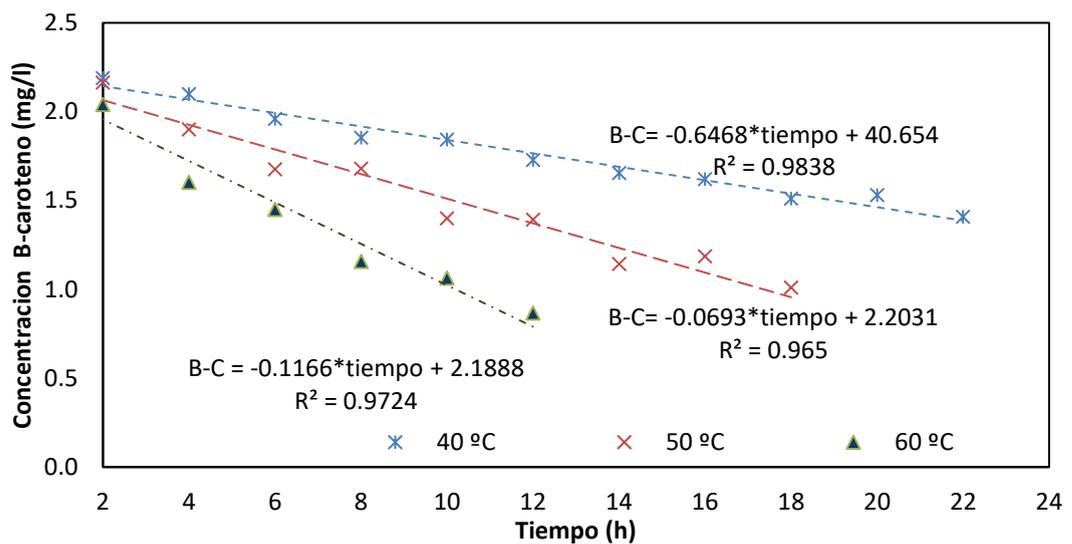


Figura 16. Ajuste lineal de orden 0 de la concentración de β -caroteno.

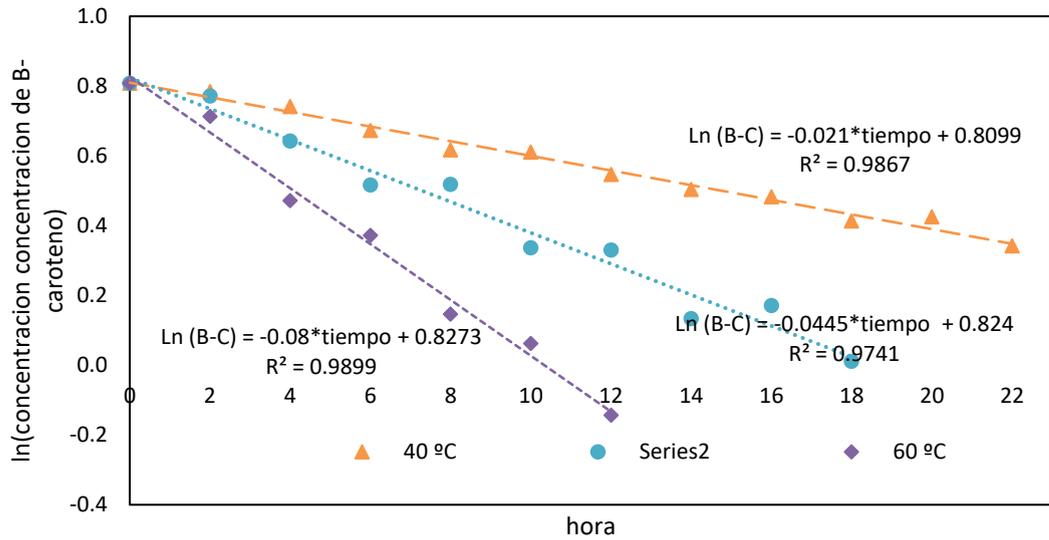


Figura 17. Ajuste lineal de orden 0 de la concentración de β-caroteno.

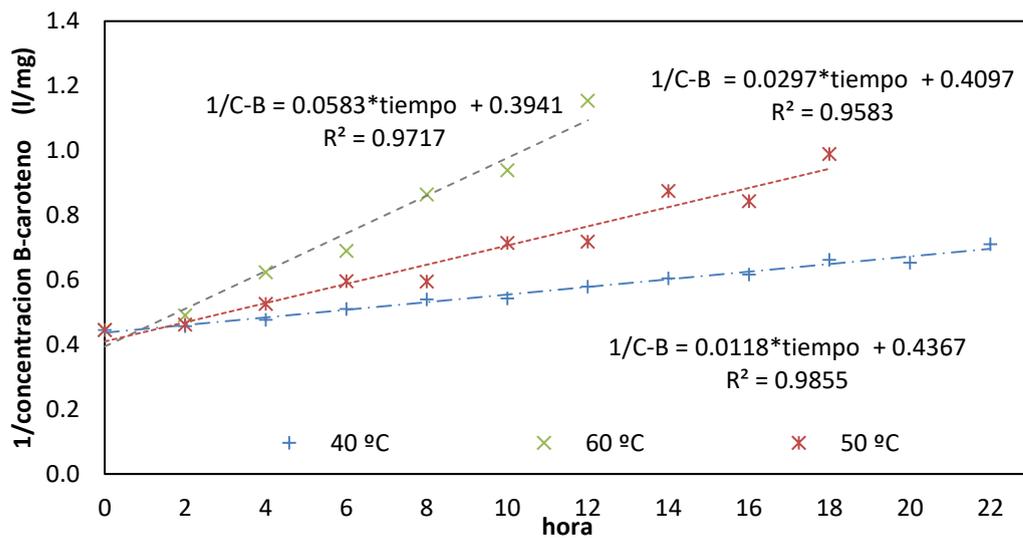


Figura 18. Ajuste lineal de orden 2 de la concentración de β-caroteno.

Donde: B-C es la concentración de β-caroteno mg/l

En la Tabla 22, se muestra los valores del R² y EMC para cada orden de reacción, diversas investigaciones señalan que la degradación del β-caroteno en procesos térmicos es de orden uno como; jugo de tomate de árbol (Ordóñez - Santos y Martínez - Giron, 2019), tomates (Demiray et al., 2013), específicamente en el secado del aguaymanto también reportaron cinéticas de primer orden (Castro et al., 2008).

La selección del orden de la velocidad de reacción de degradación del β -caroteno se dio en función a la bondad de ajuste a los datos experimentales. La cinética de orden 1, cuenta con un coeficiente de correlación R^2 de 0.9835 ± 0.006 y el EMC es 0.0024 ± 0.0013 , mientras que los otros modelos tuvieron valores más bajos de R^2 y más altos de EMC. Finalmente, en la predicción del modelo (véase anexo 8, figura 33), ya aplicando la corrección de la constante de velocidad por la temperatura el E% (2.1647 ± 0.8045) y El EMC es 0.0023 ± 0.0013 y esto confirma que el modelo de orden uno es el más adecuado.

Tabla 22. *Criterios de bondad de ajuste de los diferentes modelos.*

Orden de reacción	R^2	EMC
0	0.9725 ± 0.0046	0.0118 ± 0.0075
1	0.9835 ± 0.006	0.0024 ± 0.0013
2	0.9687 ± 0.0133	0.124 0.0139

5.7.2 Determinación de constantes cinéticas de degradación del ácido ascórbico en el secado del aguaymanto

En la Tabla 23, se muestra los valores de las constantes de cinética de degradación para las tres temperaturas de secado.

Tabla 23. *Constantes cinéticas de la cinética de degradación del ácido ascórbico.*

Constante de la cinética de degradación	Temperatura		
	40 °C	50 °C	60 °C
K_1 (h^{-1})	0.021	0.0445	0.08
K_2 (h^{-1})	0.0207	0.0457	0.078
K_3 (h^{-1})	0.0204	0.044	0.079

En el secado a 40 °C, constante de velocidad de degradación se encuentra entre $0.0204 h^{-1}$ a $0.021 h^{-1}$ a 50 °C es de $0.44 h^{-1}$ a $0.0457 h^{-1}$ y en el secado a 60 °C es de $0.078 h^{-1}$ a $0.08 h^{-1}$, realizando una comparación con los resultados obtenidos del ácido ascórbico, la constante de velocidad de degradación es ligeramente mayor para el secado a 40 °C; mientras que en el secado a 50 y 60 °C la constante de degradación del β -caroteno es más elevada. Investigación desarrollada por Castro *et al.* (2008) en muestras de aguaymanto secadas a 40, 50 y 60 °C reportaron constantes de degradación de 0,03, 0,06 y 0,08 (h^{-1}), respectivamente

y las muestras con pretratamiento de deshidratación osmótica dieron valores de 0.22 a 0.55 h⁻¹ y los resultados obtenidos fueron ligeramente parecidos.

Demiray y Tulek (2017) reportó que el secado convectivo a 45, 55 y 60 °C las constantes de las velocidades de reacción fue de 0.23 ± 0.08, 0.34 ± 0.04 y 0.48 ± 0.04 h⁻¹ respectivamente. Las constantes de velocidad de reacción de degradación a 45 y 55 °C se aproximan a los resultados obtenidos, mientras que el de 65 °C es un valor menor a los obtenidos.

Mientras que, en el secado de cuartos de tomates las constantes de velocidad de reacción de degradación del β-caroteno a 60, 70, 80, 90 y 100 °C es de 0.0839, 0.1353, 0.2870, 0.3088 y 0.3810 h⁻¹, respectivamente. Los valores de las constantes de degradación de β-caroteno a 60 °C son mayores, que la del ácido ascórbico; sin embargo, a temperaturas mayores o igual a 70 °C las constantes de degradación del ácido ascórbico son más altas que del β-caroteno (Demiray et al., 2013).

En el tratamiento térmico de la calabaza de 60 - 100 °C la constante fue de 0.24 a 0.48 h⁻¹ (Chen, 2003) y pure de papaya a 70-105 °C es de 0.12 a 0.36 h⁻¹ (Zhang, 2001) ambos citados por (Pénicaud et al., 2011).

En caso de tratamientos térmicos de jugos de tomate de árbol la constante de las velocidades de degradación del β-caroteno a 70, 80 y 90°C es 0.013 min⁻¹ (0.798 h⁻¹), 0.0198 min⁻¹ (1.188 h⁻¹) y 0.421 min⁻¹ (2.526 h⁻¹) son mucho más altas.

5.7.3 Determinación de la energía de activación de degradación del β-caroteno

La dependencia de la velocidad de reacción en relación con la temperatura se calcula mediante la ecuación de Arrhenius, descrita en ecuación 15 y continuación, se muestra el ajuste del modelo.

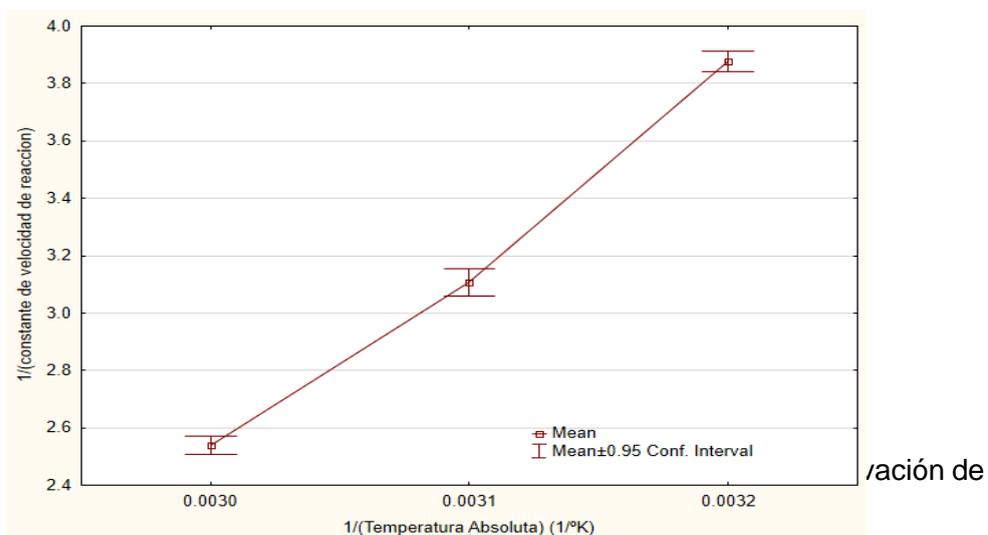


Tabla 24. Constantes de la ecuación de Arrhenius.

Parámetro	$\bar{X} + S$
A (factor de frecuencia) (h^{-1})	$10.83 \times 10^7 \pm 2.3 \times 10^7$
E_{α} (kJ/mol)	58.15918 ± 0.58215

El factor de frecuencia tiene un promedio de $10.83 \times 10^7 \pm 2.3 \times 10^7 \text{ h}^{-1}$ y la energía de activación es $58.15918 \pm 0.58215 \text{ kJ/mol}$.

Los efectos de la temperatura del producto sobre la constante de velocidad de degradación del ácido ascórbico ($k = (T)$) se pueden expresar mediante la ecuación 24:

$$k = 10.83 \cdot 10^7 \cdot \exp\left(\frac{58.15918 \cdot 10^3}{R \cdot T}\right) \quad \text{Ecuación 24}$$

Siendo; $R=8.3145 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$ y T es la temperatura absoluta (K).

La energía de activación en la degradación del β -caroteno en el secado de aguaymanto a 40, 50 y 60 °C es $58.16 \pm 0.58 \text{ kJ/mol}$, la cual es mayor que la energía de activación de degradación del ácido ascórbico. A menor energía de activación, una reacción química tendrá mayor velocidad de reacción química. Una baja energía de activación permite a las moléculas de los reactivos formar productos fácilmente; sin embargo, valores más grandes de energía de activación corresponde a una reacción más sensible a la variación de la temperatura (Levenspiel, 1981). Esta afirmación también fue señalada por Ordóñez-Santos et al., (2013) quien menciona que la termorresistencia del β -caroteno es menor que del ácido ascórbico. Mientras que, Castro *et al.* (2008) indica que los valores de energía de activación del β -caroteno en el secado de aguaymanto a 40, 50 y 60 °C, es 49.041 kJ/mol para muestras sin pretratamiento y muestras con pretratamiento proporcionaron valores de 45.815 kJ/mol . Estos valores son mucho menores a los obtenidos en esta investigación.

En el secado de cuartos de tomates de 60 a 100 °C, la energía de activación es 40.17 kJ/mol con factor de frecuencia de $0.184 \cdot 10^6 \text{ h}^{-1}$ (Demiray et al., 2013). Aparicio-Ruiz *et al.* (2011) que informan que la energía de activación de degradación del β -caroteno ($14.30\text{--}14,77 \text{ kJ/mol}$)(Ordóñez - Santos y Martínez - Giron, 2019). En general, la energía de activación obtenidos es mayor que en las revisiones bibliográficas, uno de los motivos probablemente se debe a la manipulación del secador para realizar el pesado y extracción de las muestras. Lo cual generó una entrada de oxígeno dentro del secador.

5.8 Determinación de la velocidad de reacción de degradación del β -caroteno

En la tabla 25 se muestran los resultados de las velocidades de reacción de degradación del β -caroteno en el secado del fruto de aguaymanto, para cada temperatura, la velocidad de reacción de degradación del β -caroteno a 40, 50 y 60 °C es 0.00144, 0.00287 y 0.0055 mmol·l⁻¹·h⁻¹, respectivamente.

Tabla 25. *Velocidad de reacción de degradación del β -caroteno.*

Tratamiento	Velocidad de reacción (mmol ·l ⁻¹ ·h ⁻¹)
40 °C	0.00144 ± 0.00002
50 °C	0.00287 ± 0.00003
60 °C	0.00550 ± 0.00003

Los resultados de la prueba de ANOVA como se muestra en la Tabla 26, indica que p-valor < 0.05 por lo tanto, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las velocidades de reacción de degradación del del β -caroteno en muestras de aguaymanto secadas a 40, 50 y 60 °C.

Tabla 26. *Tabla ANOVA para velocidad de reacción de degradación del del β -caroteno.*

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F cal.	p-value*	F crit.
Entre grupos	2.55E-05	2	1.27E-05	19908.5	0.000	5.14
Dentro de los grupos	3.84E-09	6	6.4E-10			
Total	2.55E-05	8				

* para un nivel de significancia del 5%.

En el anexo 07, se muestra el resultado de la prueba de LSD, en ella se puede afirmar para un nivel de confianza del 95 %, existe diferencias estadísticamente significativas entre los tres pares de media comparadas de las velocidades de reacción de degradación del del β -caroteno en el secado a 40, 50 y 60 °C. Estos resultados, confirman que a temperaturas más altas la velocidad de degradación es mayor (véase anexo 04 figura 30). La velocidad de reacción de degradación a 40 °C < 50 °C < 60 °C, estos valores son menores a los determinados del ácido ascórbico. Esto es debido a que la velocidad de reacción de degradación del ácido ascórbico es directamente proporcional a la concentración del compuesto, por lo que el β -caroteno

se encuentra en menor concentración en los frutos del aguaymanto. Dado que la velocidad de reacción se determinó para el peso promedio de los frutos de aguaymanto que viene a ser 4.98 g y para un volumen de 0.0032 l.

La velocidad de reacción proporcionaría, por tanto, una medida de la reactividad y estabilidad del sistema (Villota y Hawkes, 1997). Existe una regla práctica que dice que la velocidad de reacción se duplica por cada aumento de 10°C en la temperatura; sin embargo, esto solo es cierto para una combinación específica de energía de activación y temperatura (Huamaní y Rojas, 2010). En este caso, para la velocidad de reacción de degradación del β -caroteno se cumple efectivamente dicha regla.

Como se mencionó con anterioridad las velocidades de reacción se determinan con las constantes de degradación reportadas por investigadores; por lo tanto, con los valores reportados por Castro *et al.* (2008) en su investigación en muestras de aguaymanto secadas a 40, 50 y 60 °C sin pretratamiento se obtienen velocidades de reacción de degradación del β -caroteno de 0.002, 0.0041 y 0.0054 $\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$, y para muestras con pretratamiento las velocidades entre 40 y 60 °C fueron 0.0149-0.0373 $\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$. Mientras que, en el secado a 60, 70, 80, 90 y 100 °C de cuartos de tomate se obtuvieron resultados de velocidad de reacción de degradación del β -caroteno de 0.0057, 0.092, 0.0195, 0.0209 y 0.0258 $\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$, respectivamente. Finalmente, en caso de tratamientos térmicos de jugos de tomate de árbol las velocidades de reacción de degradación del β -caroteno a 70, 80 y 90°C es 0.0541, 0.0805 y 0.1712, respectivamente.

Muy pocas colisiones son productivas porque pocas ocurren con la energía suficiente para provocar la organización de los enlaces. Por ello, la temperatura afecta la velocidad de la reacción. Una mayor temperatura implica mayor energía cinética de las moléculas y por lo tanto incrementa la probabilidad de que las moléculas colisiones sean productivas (Levenspiel, 1981).

CONCLUSIONES

- La velocidad de reacción de degradación del ácido ascórbico en el secado del aguaymanto está influenciada por el incremento de la temperatura, dado que, a temperaturas mayores las velocidades de reacción de degradación altas.
- La velocidad de reacción de degradación del β -caroteno está influenciado por la variación de la temperatura en el secado del aguaymanto, porque a temperaturas altas las velocidades de reacción de degradación del β -caroteno son mayores. Asimismo, la velocidad de reacción de degradación del ácido ascórbico es mayor que del β -caroteno.
- La velocidad de reacción de degradación del ácido ascórbico en secado a 40, 50 y 60 °C es de orden uno.
- La velocidad de reacción de degradación del β -caroteno en secado a 40, 50 y 60 °C es de orden uno.
- La energía de activación de degradación del ácido ascórbico es 51.41226 ± 0.25211 kJ/mol en el secado del aguaymanto a 40, 50 y 60 °C.
- La energía de activación de degradación del β -caroteno es 58.15918 ± 0.58215 kJ/mol en el secado a 40, 50 y 60 °C.

RECOMENDACIONES

- Realizar trabajos de investigación empleando como mínimo 5 niveles de temperatura.
- Realizar un trabajo de investigación aplicando como pretratamiento el blanqueamiento, oleato de etilo, debido a que se ha demostrado que estos compuestos reducen el tiempo de secado y disminuyen la pérdida de ácido ascórbico y β -caroteno.
- Realizar la inactivación de enzimas, debido a que estas pueden causar reducciones del 80 % del contenido de caroteno en algunos vegetales, si el producto se blanquea adecuadamente la pérdida solo llegaría al 5%, dependiendo del tipo de producto.
- Realizar estudios tomando en cuenta la humedad y la actividad de agua en posteriores investigaciones de determinación de la cinética de degradación del ácido ascórbico y β -caroteno.
- Realizar investigaciones que consideren todos los factores que influyen en el secado, tales como; humedad relativa, temperatura, velocidad de aire, dirección de flujo de aire y dimensión de la muestra, que permitan obtener modelos matemáticos más robustos y sustentados.
- Realizar trabajos de investigación con aplicación de modelos estocásticos como la red neuronal (modelos no probabilísticos), ello siempre y cuando se tomen más variables de estudio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahvenainen R (1996) New approaches in improving the shelf life of minimally processed fruit and vegetables. *Trends Food Science. Technology*, 7: 179-187.
- Alarcón J. (2002). *Caracterización citogenética y respuesta al cultivo in vitro de tres accesiones de Physalis peruviana L.* (Tesis de Maestría). Facultad de Agronomía. Universidad Nacional Agraria La Molina, 25 p.
- Arteaga M. y León E. (2015). Estimación de modelos de regresión entre el color y las propiedades fisicoquímicas del aguaymanto (*Physalis peruviana L.*). *Tecnología y desarrollo*, 13(1), 35-40.
- Azeez, L., Adebisi, S. A., Oyedeji, A. O., Adetoro, R. O., y Tijani, K. O. (2019). Bioactive compounds' contents, drying kinetics and mathematical modelling of tomato slices influenced by drying temperatures and time. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 18(2), 120–126.
- Basoalto, H. (2004). *Cultivo de Physalis peruviana Linnaeus, en comuna de Yerbas Buenas*, Región del Maule, Chile.
- Bingol, G., Roberts, J. S., Balaban, M. O., y Devres, Y. O. (2012). Effect of Dipping Temperature and Dipping Time on Drying Rate and Color Change of Grapes. *Drying Technology*, 30(6), 597–606.
- Botero, A. (2008). Aplicación de la Ingeniería de Matrices en el desarrollo de la uchuva mínimamente procesada fortificada con calcio y vitamina C y E. Tesis (Magíster en Ciencias Farmacéuticas énfasis en Alimentos). Medellín, Universidad de Antioquía.
- Burgos, G., Auqui, S., Amoros, W., Salas, E., y Bonierbale, M. (2009). Ascorbic acid concentration of native Andean potato varieties as affected by environment, cooking and storage. *Journal of Food Composition and Analysis*, 22(6), 533–538.
- Calligaris, S., Valoppi, F., Barba, L., Anese, M., y Nicoli, M. C. (2018). β -Carotene degradation kinetics as affected by fat crystal network and solid/liquid ratio. *Food Research International*, 105, 599–604.
- Castro, A., Rodríguez, L., y Vargas, E. (2008). Secado de Uchuva por aire caliente con pretratamiento de osmodeshidratación. *Revista de La Facultad de Química Farmacéutica*, 15(2), 226–231.
- Ceballos, E., y Jiménez, M. (2012). Cambios en las propiedades de frutas y verduras durante la deshidratación con aire caliente y su susceptibilidad al deterioro

- microbiano. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 1(2012), 98–110.
- Comisión de Promoción del Perú para la Exportación y el Turismo. (03 de Junio de 2017). *Reportes de productos de biocomercio*. Obtenido de <http://www.siicex.gob.pe/siicex/apb/ReporteProducto.aspx?psector=1025ypreparorte=prodmercvoluypvalor=331080>
- Contreras, X. (2015). *Influencia de la temperatura de secado en la degradación térmica del ácido ascórbico en el Aguaymanto (Physalis peruviana L.)*. Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias. Universidad Nacional de Huancayo, p 93.
- CDTI 1993. Cuadernos del CDTI. Memorias. Ministerio de Industria, 202-228.
- Davey, M. W., Montagu, M. Van, Inz, D., Sanmartin, M., Kanellis, A., Smirnoff, N., Fletcher, J. (2000). Plant L-ascorbic acid: chemistry, function, metabolism, bioavailability and effects of processing. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80(7), 825–860.
- Demiray, E., y Tulek, Y. (2017). Degradation kinetics of β -carotene in carrot slices during convective drying. *International Journal of Food Properties*, 20(1), 151–156. <https://doi.org/10.1080/10942912.2016.1147460>
- Demiray, E., Tulek, Y., y Yilmaz, Y. (2013). Degradation kinetics of lycopene, β -carotene and ascorbic acid in tomatoes during hot air drying. *LWT - Food Science and Technology*, 50(1), 172–176.
- Díaz, M. (2018). *Efecto de pre-tratamiento y temperatura en la cinética de secado y variación de color en el aguaymanto (Physalis peruviana L.) del ecotipo alargado selección canaán*. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional Jose Maria Arguedas .
- Duque, A., Giraldo, G. y Quintero, V. (2011). Caracterización de la fruta, pulpa y concentrado de uchuva (*Physalis peruviana L.*). *Temas agrarios*, 16:(1), 75-83.
- Djendoubi, N., Boudhrioua, N., Kechaou, N., Courtois, F., y Bonazzi, C. (2012). Influence of air drying temperature on kinetics, physicochemical properties, total phenolic content and ascorbic acid of pears. *Food and Bioprocess Processing*, 90(3), 433–441.
- Doymaz, İ., y Özdemir, Ö. (2014). Effect of air temperature, slice thickness and pretreatment on drying and rehydration of tomato. *International Journal of Food Science y Technology*, 49(2), 558–564.
- El-Beltagi, H. S., Mohamed, H. I., Safwat, G., Gamal, M., y Megahed, B. M. H. (2019).

- Chemical Composition and Biological Activity of *Physalis peruviana* L. *Gesunde Pflanzen*, 71(2), 113–122.
- Erenturk, S., Gulaboglu, M. S., y Gultekin, S. (2005). The effects of cutting and drying medium on the vitamin C content of rosehip during drying. *Journal of Food Engineering*, 68(4), 513–518.
- Everett, T. (1981). La botánica jardín ilustrado enciclopedia de horticultura. Vol. 8. Garland Publ., Nueva York, Londres.
- FAO. Uchuva (*Physalis peruviana* L.). Fichas técnicas. 006. Disponible en: <http://www.fao.org/inpho_archive/content/documents/vlibrary/AE620s/Pfrescos/UCHUVA.HTM#a2>.
- Fang, T., Zhen, Q., Liao, L., Owiti, A., Zhao, L., Korban, S. S., y Han, Y. (2017). Variation of ascorbic acid concentration in fruits of cultivated and wild apples. *Food Chemistry*, 225, 132–137.
- Fennema, R. O., Damodarán, S. y Parkin, I. K. (2000). *Química de los Alimentos*. Zaragoza. (2da ed.). Editorial Acribia. España.
- Figuroa, R., y Rivas, S. (2015). Vitamin C in Health and Disease: Its Role in the Metabolism of Cells and Redox State in the Brain. *Frontiers in Physiology*, 6, 397.
- Fischer, G. (1995). Effect of root zone temperature and tropical altitude on the growth, development and fruit quality of cape gooseberry (***Physalis peruviana* L.**). Tesis (Doctorado)- Humboldt-Universität zu Berlin, Berlin, 1995.
- Fisher, G., y Martínez, O. (1999). (PDF) Calidad y madurez de la uchuva (*Physalis peruviana* L.) en relación con la coloración del fruto. *Agronomía Colombiana*, 16, 35–39.
- Fischer, G.; Lüdders, P.; Torres Carvajal, F. (1997). Influencia de la separación del cáliz de la uchuva (***Physalis peruviana* L.**) sobre el desarrollo del fruto. *Revista Comalfi*, Bogotá, v.24, n.1-2, p.3-16
- Fischer, G., Ebert, G., y Lüdders, P. (2000). Provitamin A carotenoids, organic acids and ascorbic acid content of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) ecotypes grown at two tropical altitudes. *Acta Horticulturae*, 531, 263–267.
- Gastelum, D. (2012). Demanda nutrimental y manejo agronómico de *Physalis peruvianum* L. 74 f. Tesis (Maestría en Ciencias). -Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas, Texcoco, 2012.
- Giuliano, G., Tavazza, R., Diretto, G., Beyer, P., y Taylor, M. A. (2008). Metabolic engineering of carotenoid biosynthesis in plants. *Trends in Biotechnology*, 26(3),

139–145.

- Goula, A. M., y Adamopoulos, K. G. (2006). Retention of Ascorbic Acid during Drying of Tomato Halves and Tomato Pulp. *Drying Technology*, 24(1), 57–64.
- Guiamba, I., Ahrné, L., Khan, M. A. M., y Svanberg, U. (2016). Retention of β -carotene and vitamin C in dried mango osmotically pretreated with osmotic solutions containing calcium or ascorbic acid. *Food and Bioproducts Processing*, 98, 320–326.
- Gutiérrez, T., Hoyos, O., y Cuervo, G. (2016). Estudio cinético de la degradación térmica de trans- β -caroteno en uchuva. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(1), 126–134.
- Gutierrez, T., Hoyos, O., y Páez, M. (2007). Determinación del contenido de ácido ascórbico en uchuva (*Physalis peruviana* L.), por cromatografía líquida de alta resolución (clar). *Revista de La Facultad de Ciencias Agropecuaria*, 5(1), 70–79.
- Hassanien, F. R. (2011). *Physalis peruviana*: A Rich Source of Bioactive Phytochemicals for Functional Foods and Pharmaceuticals. *Food Reviews International*, 27(3), 259–273.
- Hernández, C. (2013). *Desarrollo de productos tratados por procesos térmicos y no térmicos a partir del fruto Physalis peruviana Linnaeus*. Universidad de Chile. Santiago, Chile
- Horuz, E., Bozkurt, H., Karataş, H., y Maskan, M. (2017). Effects of hybrid (microwave-convectional) and convectional drying on drying kinetics, total phenolics, antioxidant capacity, vitamin C, color and rehydration capacity of sour cherries. *Food Chemistry*, 230, 295–305.
- Huachuillca, D. (2017). *Efecto de liofilización sobre los compuestos bioactivos y capacidad antioxidante en la pulpa de aguaymanto (Physalis peruviana L.)*. Facultad de Ingeniería. Universidad José María Arguedas.
- Huaman, K., y Ninahuanca, B. (2015). *Evaluación de la pérdida de β -carotenos en la osmodeshidratación de aguaymanto (Physalis peruviana L) con una solución de stevia*. Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias. Universidad Nacional de Centro del Perú.
- Huamaní, M., y Rojas, A. (2010). *Evaluación Del Comportamiento De La Constante De Velocidad Con La Temperatura En La Reacción De Amoníaco Con Formaldehído En Un Reactor Batch*. Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias. Universidad Nacional del Centro del Perú.
- ICONTEC. 1999. *Frutas frescas. Uchuva. Especificaciones. Norma Técnica*

- Colombiana NTC 4580*. Instituto Colombiano de Normas Técnicas. Bogotá, Colombia.
- Ibarz, A. (2005). *Operaciones Unitarias en la Ingeniería de Alimentos*, Ediciones Mundi Prensa, España.
- Junqueira, J. R. de J., Corrêa, J. L. G., de Oliveira, H. M., Ivo Soares Avelar, R., y Salles Pio, L. A. (2017). Convective drying of cape gooseberry fruits: Effect of pretreatments on kinetics and quality parameters. *LWT - Food Science and Technology*, *82*, 404–410.
- Juntamay, E. R. (2010). Evaluación Nutricional de la Uvilla (*Physalis peruviana* L.) Deshidratada, a tres Temperaturas Mediante un Deshidratador de Bandejas.
- Karabulut, I., Topcu, A., Duran, A., Turan, S., y Ozturk, B. (2007). Effect of hot air drying and sun drying on color values and β -carotene content of apricot (*Prunus armenica* L.). *LWT - Food Science and Technology*, *40*(5), 753–758.
- Kaushal, P., y Sharma, H. K. (2016). Osmo-convective dehydration kinetics of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, *15*(2), 118–126.
- Krokida, M. K., Kiranoudis, C. T., Maroulis, Z. B., y Marinos-Kouris, D. (2000). DRYING RELATED PROPERTIES OF APPLE. *Drying Technology*, *18*(6), 1251–1267.
- Leong, S. Y., y Oey, I. (2012). Effects of processing on anthocyanins, carotenoids and vitamin C in summer fruits and vegetables. *Food Chemistry*, *133*(4), 1577–1587.
- Levenspiel, O. (1987). *Ingeniería de las Reacciones Químicas*. Barcelona: Repla. S.A.
- Li, Y., y Schellhorn, H. E. (2007). New Developments and Novel Therapeutic Perspectives for Vitamin C. *The Journal of Nutrition*, *137*(10), 2171–2184.
- Marín, Z.; Cortés, M. y Montoya, O. I. (2010) Uchuva (*Physalis peruviana* L.) ecotipo Colombia, mínimamente procesada inoculada con la cepa nativa *Lactobacillus plantarum* LPBM1 O mediante la técnica de impregnación a vacío. revista chilena de nutrición, Departamento de Ingeniería Agrícola y de Alimentos, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Colombia, Escuela de Biociencias, Facultad de Ciencias.
- Mendoza, J., Rodríguez, A., y Millán, P. (2012). Caracterización Físico Químico de la Uchuva (*Physalis peruviana*) en la región de Silvia Cauca, *10*(2), 188–196.
- Ministerio de Comercio Exterior y Turismo (MINCETUR) (2009). Estudio para la

- selección de 10 nuevos productos con potencial exportador, su adaptabilidad al territorio nacional, su viabilidad en Europa e identificar potenciales clientes. *Informe Final*. Perú.
- Miranda, G. (2004). Influencia de la temperatura, el envase y la atmosfera en la conservación de uvas pasas y albaricoques deshidratadas. *tesis doctoral*. Universidad de Valencia. España.
- Namitha, K. K., y Negi, P. S. (2010). Chemistry and Biotechnology of Carotenoids. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 50(8), 728–760.
- National Research Council Collection (1989- 1995). Archives of American Mathematics, Dolph Briscoe for American History" The University of Texas at Austin.
- Nishikimi, M., Fukuyama, R., Minoshima, S., Shimizu, N., y Yagi, K. (1994). Cloning and chromosomal mapping of the human nonfunctional gene for L-gulonogamma-lactone oxidase, the enzyme for L-ascorbic acid biosynthesis missing in man. *Journal of Biological Chemistry*, 269(May 6), 13685–13688.
- Nora, C. D., Müller, C. D. R., de Bona, G. S., Rios, A. de O., Hertz, P. F., Jablonski, A., Flôres, S. H. (2014). Effect of processing on the stability of bioactive compounds from red guava (*Psidium cattleianum* Sabine) and guabiju (*Myrcianthes pungens*). *Journal of Food Composition and Analysis*, 34(1), 18–25.
- Olivares, M. L., Dekker, M., Verkerk, R., y Van, M. A. J. S. (2016). Health-promoting compounds in cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.): Review from a supply chain perspective. *Trends in Food Science y Technology*, 57, 83–92.
- Ordóñez Santos, L., Ospina, M., y Rodríguez, D. (2013). Cinética de degradación térmica de vitamina C en frutos de guayaba (*Psidium guajava* L.). *Revista Lasallista de Investigacion*, 10(2), 44–51.
- Ordóñez - Santos, L., y Martínez - Giron, J. (2019). Thermal degradation kinetics of carotenoids, vitamin C and provitamin A in tree tomato juice. *International Journal of Food Science and Technology*.
- Ortiz, Y., Romero, T., Cuervo, J., Tamayo, L., Morales, A., Rodríguez, G., Garcia, M., y Robles, V. (2012). Degradación del ácido ascórbico durante el secado convectivo de papaya maradol (***Carica papaya***). *IV congreso Internacional de Ciencia y Tecnología de los alimentos Córdoba Argentina*, 82-92.
- Peleg, M., Normand, M. D., Dixon, W. R., y Goulette, T. R. (2018). Modeling the degradation kinetics of ascorbic acid. *Critical Reviews in Food Science and*

- Nutrition*, 58(9), 1478–1494.
- Pénicaud, C., Achir, N., Dhuique-Mayer, C., Dornier, M., y Bohuon, P. (2011). Degradation of β -carotene during fruit and vegetable processing or storage: Reaction mechanisms and kinetic aspects: A review. *Fruits*, 66(6), 417–440.
- Ponce, A., y Rodríguez, F. (2014). *Evaluación del efecto de secado en los compuestos fenólicos y capacidad antioxidante del aguaymanto (Physalis peruviana L.)*. Universidad Nacional del Centro de Perú.
- Puente, L. A., Pinto, C. A., Castro, E. S., y Cortés, M. (2011). *Physalis peruviana* Linnaeus, the multiple properties of a highly functional fruit: A review. *Food Research International*, 44(7), 1733–1740.
- Priestley, P. (1979). Vitamins in Effect of heat processing on food stuffs, ed by Priestley R. J. *International Journal of Dairy Technology*, 32: 165-165.
- Ramadan, M. F. (2011a). Bioactive phytochemicals, nutritional value, and functional properties of cape gooseberry (*Physalis peruviana*): An overview. *Food Research International*, 44(7), 1830–1836.
- Ramadan, M. F. (2011b). *Physalis peruviana*: A Rich Source of Bioactive Phytochemicals for Functional Foods and Pharmaceuticals. *Food Reviews International*, 27(3), 259–273.
- Ramadan, M. F., y Mörsel, J. T. (2004). Goldenberry, a novel fruit, source of fat soluble bioactives. *INFORM - International News on Fats, Oils and Related Materials*.
- Ramírez, F., Fischer, G., Davenport, T. L., Pinzón, J. C. A., y Ulrichs, C. (2013). Cape gooseberry (*Physalis peruviana L.*) phenology according to the BBCH phenological scale. *Scientia Horticulturae*.
- Repo de Carrasco, R., y Encina, C. R. (2008). Determinación de la capacidad antioxidante y compuestos bioactivos de frutas nativas peruanas. *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 74(2), 108–124.
- Restrepo, A. (2008). Nuevas perspectivas de consumo de frutas: Uchuva (***Physalis peruviana L.***) y Fresa (***Fragaria vesca L.***) mínimamente procesadas fortificadas con vitamina E. *Tesis (Magíster en Ciencia y Tecnología de los Alimentos)*. Medellín, Colombia. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias.
- Santos, P. H. S., y Silva, M. A. (2008). Retention of Vitamin C in Drying Processes of Fruits and Vegetables: A Review. *Drying Technology*, 26(12), 1421–1437.
- Sierra y Selva Exportadora. (05 de Junio de 2018). *Ficha técnica Aguaymanto*

- (*Physalis peruviana* L.). Obtenido de <http://www.sierraexportadora.gob.pe/wp-content/uploads/2017/01/FICHA-AGUAYMANTO-final.pdf>
- Singh, R. y Heldman, D. (2009). Introducción a la ingeniería de los alimentos. Editorial ACRIBIA. 2da edición. España.
- Talcott, S. y Howard, R. (1999). Phenolic autooxidation is responsible for color degradation in processed carrot puree. *J Agric Chem* 47, 2109 – 2115.
- Tapia M. y Fries A. (2007). Guía de campo de los cultivos andinos. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y Asociación Nacional de Productores Ecológicos del Perú (ANPE).
- Torres, J. (2011). Elaboración del néctar de uvilla *physalis peruviana* L, utilizando sacarina, dos concentraciones de estabilizante y dos tiempos de pasteurización. Tesis de pregrado. Universidad Técnica del Norte, facultad de ingeniería en ciencias agropecuarias y ambientales.
- Udomkun, P., Nagle, M., Mahayothee, B., Nohr, D., Koza, A., y Müller, J. (2015). Influence of air drying properties on non-enzymatic browning, major bio-active compounds and antioxidant capacity of osmotically pretreated papaya. *LWT - Food Science and Technology*, 60(2), 914–922.
- Van Boekel, M. A. J. S. (2008). Kinetic Modeling of Food Quality: A Critical Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 7(1), 144–158.
- Velasquez, E., y Velasquez, K. (2017). *Evaluación de las características fisicoquímicas del aguaymanto (Physalis peruviana L.) de la zona andina y selva en diferentes estados de madurez*. Universidad Nacional del Centro del Perú. Elimarrrrr[http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/1593/Velasquez Cristobal - TESIS -2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/1593/Velasquez%20Cristobal%20-%20TESIS%20-%202017.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Villota, R. y Hawkes, J. G. (1997). Cinética de reacción en sistema de alimentos. New York.
- Wang, X. D. (1994). Review: absorption and metabolism of beta-carotene. *Journal of the American College of Nutrition*, 13(4), 314–325. <https://doi.org/10.1080/07315724.1994.10718416>
- Xiao, H.-W., Pang, C.-L., Wang, L.-H., Bai, J.-W., Yang, W.-X., y Gao, Z.-J. (2010). Drying kinetics and quality of Monukka seedless grapes dried in an air-impingement jet dryer. *Biosystems Engineering*, 105(2), 233–240.

ANEXO

Anexo 1. Ubicación geográfica del INIA-Chumbibamba.

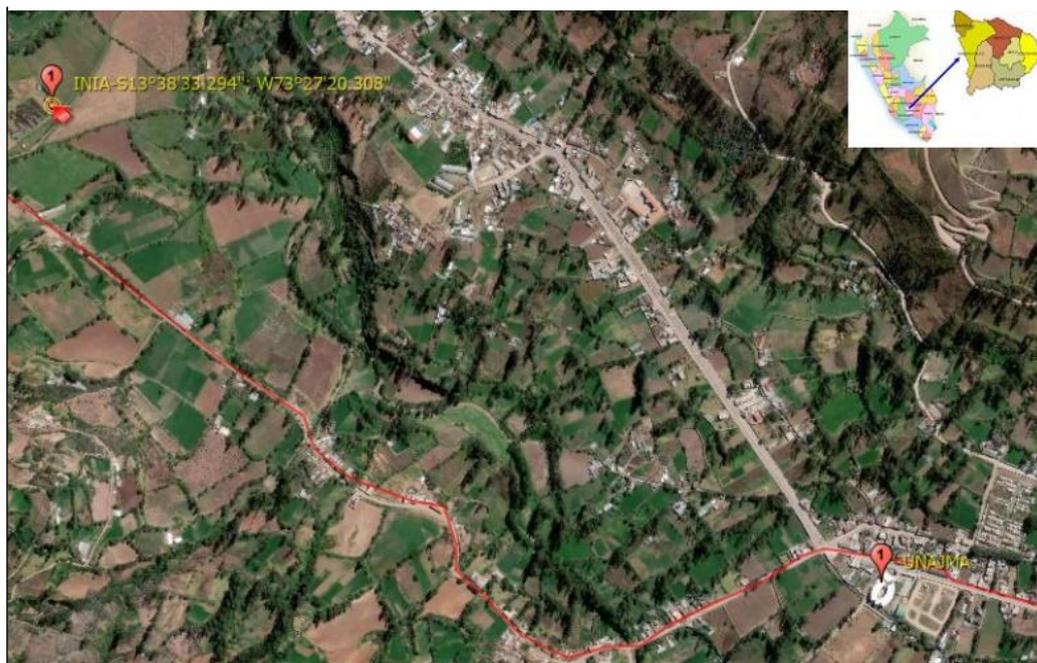


Figura 20. Mapa de localización del Instituto Nacional de Innovación Agraria sede Chumbibamba.

En la ubicación se tiene como punto de referencia la sede de la Universidad Nacional José María Arguedas sede santa Rosa (punto 1).

Anexo 2. Fotográficas de la determinación de la determinación de ácido ascórbico y β -caroteno.



Figura 21. Selección de las muestras de aguaymanto.



Figura 22. Clasificación de las muestras de aguaymanto.



Figura 23. Embandejamiento de las muestras de aguaymanto.



Figura 26. Introducción de la muestra a la estufa secador.



Figura 25. Filtración de la solución del aguaymanto en ácido oxálico.



Figura 24. Determinación del β -caroteno.

Anexo 3: Extractos de la Norma Técnica Colombiana 4580.

Tabla 27. Calibre del aguaymanto según la NTC 4580

Díámetro (mm)	Calibre
≤ 15	A
15.1-18.0	B
18.1-20.0	C
20.1-22.0	D
≥ 22.1	E

Fuente: ICONTEC (1999)

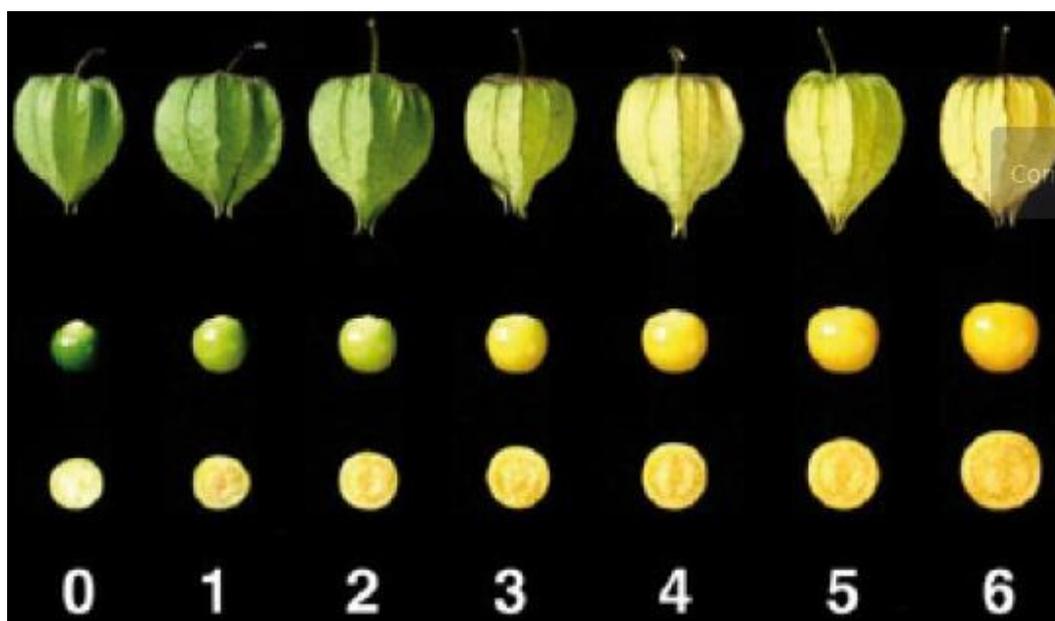


Figura 27. Clasificación del aguaymanto por el color de fruto según la NTC 4580.

Fuente: ICONTEC (1999).

Anexo 4: Metodología para la determinación de ácido ascórbico

El método planteado por el departamento de Agricultura de Canadá (1987), la cual se detalla a continuación:

1. Preparación de reactivos

a) Solución de ácido oxálico al 0.4%

Para preparar esta solución se pesa 4 g de ácido oxálico, diluir y enrasar a 1000 ml con agua destilada.

b) Solución standard de ácido ascórbico al 0,1%

Se pesa 0,1g de ácido ascórbico, disolver y enrasar a 100ml con la solución de ácido oxálico al 0,4%.

c) Estándares de trabajo (E.T)

Tomar alícuotas de 1, 2, 3, 4 y 5 ml de ácido ascórbico al 0,1 % en 5 fioles de 100 ml y enrasar con una solución de ácido oxálico al 0,4%.

Estas soluciones serán enumeradas del 1 al 5, contendrán 1, 2, 3, 4 y 5 mg de ácido ascórbico por 100 ml respectivamente.

d) Solución coloreada

Pesar 12 mg de 2,6–Diclorofenolindofenol, disolver y llevar a 1000 ml con agua destilada caliente a 25 °C, esta solución se puede almacenar por 15 días en un frasco oscuro y en refrigeración.

2. Preparación de la curva estándar

Tomar 4 tubos de prueba, enumerarlas del I al IV y agregar lo siguiente a cada tubo:

Tubo I: 10 ml de agua destilada.

Tubo II: 1 ml de ácido oxálico al 0,4 % más 9 ml de solución coloreada.

Tubo III: 1 ml de E.T. N°1 más 9 ml de agua destilada.

Tubo IV: 1ml de E.T. N°1 más 9 ml de solución coloreada.

Posteriormente se realizará la lectura de absorbancia en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 520 nm, el procedimiento se realizará de la siguiente manera.

- Ajustar a 0,00 de absorbancia usando la solución del tubo I.

- Leer la absorbancia de tubo II (L1).
- Ajustar a 0,00 de absorbancia usando la solución del tuno III.
- Leer la absorbancia del tubo IV (L2).

Las lecturas L1 y L2 deben hacerse 15 segundos después de su preparación y se debe registrar L1 y L2 para cada estándar de trabajo (E.T.), posteriormente se construirá la curva standard con las concentraciones 1, 2, 3, 4 y 5 de ácido ascórbico (mg/100 ml), en la abscisa (eje X) y la absorbancia (L1 – L2) en la ordenada (eje Y), para cada E.T.

3. Preparación de la muestra

Macerar 10 g de muestra triturada con 100ml de ácido oxálico al 0,4%, dejar en reposo por algunos minutos y filtrar con papel whatman N°4.

- Determinar L1 como se describió anteriormente.
- En el tubo III colocar 1ml del filtrado (muestra) más 9ml de agua destilada y con esta ajustar a cero la absorbancia.
- En el tubo IV colocar 1ml del filtrado (muestra) más 9ml de solución coloreada y registrar la absorbancia L2, después de 15 segundos.

Calcular (L1-L2) y obtener la concentración de ácido ascórbico a partir de la curva standard y la ecuación es:

$$\text{Abs} = 0.0462 * \text{Concentración de ácido ascórbico} \qquad \text{Ecuación 24}$$

Donde:

Abs es la absorbancia a 520 nm y AA es la concentración de ácido ascórbico.

Anexo 5: Metodología para la determinación de β -caroteno

A continuación, se detallará el procedimiento para la determinación de β -caroteno en muestras frescas y deshidratadas (Talcott y Howard, 1999).

- Pesar 2.0 – 3.0 g de material vegetal.
- Homogenizar una solución que contiene 2.0 g de muestra con 20.0 ml de una mezcla de acetona –etanol (1:1).
- Dejar reposar por 24 horas a 4 ± 2 °C.
- Filtrar la solución anterior, empleando, utilizando papel filtro Whatman poro grueso.
- Transferir el filtrado a un balón volumétrico de 100.0 ml y llevar a volumen con solvente para carotenoides (acetona- etanol).
- Transferir la solución a un embudo de separación; adicionar 50.0 ml de hexano y 25.0 ml de agua; agitar vigorosamente.
- Dejar reposar por 30 min para que se dé la separación de fases.
- Calibrar el espectrofotómetro utilizando hexano como blanco.
- Medir las absorbancias de la fase orgánica, empleando una longitud de onda de 470 nm.

Para los cálculos se emplearon la siguiente ecuación:

$$\text{Abs} = 0.078 * \text{Concentración de } \beta\text{-caroteno}$$

Ecuación 24

Anexo 6: Valores experimentales de ácido ascórbico en el secado del aguaymanto

Tabla 28. Concentración del ácido ascórbico por triplicado.

Tiempo (h)	Concentración de AA 40 °C (mg/l)	Concentración de AA 50 °C (mg/l)	Concentración de AA 60 °C(mg/l)
0	40.75003	40.75003	40.75003
0	41.77390	41.77390	41.77390
0	42.18344	42.18344	42.18344
2	39.70775	38.55956	36.28420
2	41.25481	39.90914	36.92451
2	41.42670	40.68033	37.77826
4	38.38337	35.21635	30.89694
4	38.20567	36.77288	32.39887
4	38.91647	37.94027	30.89694
6	35.60886	31.45930	24.80064
6	36.16237	34.02391	26.89647
6	36.16237	34.36586	26.89647
8	35.21272	29.45246	21.93714
8	36.01301	29.64751	25.49958
8	36.21309	29.45246	23.81211
10	32.63848	27.52771	19.94469
10	32.63848	28.02222	19.42440
10	33.25045	28.18706	21.67901
12	30.89807	24.90190	17.68162
12	31.51194	26.17426	18.07023
12	33.35355	27.44662	17.29301
14	30.03309	25.32909	
14	30.81826	25.32909	
14	30.42568	25.54745	
16	29.88395	22.31018	
16	30.67037	22.94762	
16	28.50771	23.26633	
18	27.07173	21.03532	
18	27.74017	21.51339	

18	28.74283	21.51339
<hr/>		
20	26.60457	
20	26.79597	
20	27.37017	
<hr/>		
22	25.74640	
22	26.18651	
22	26.40657	
<hr/>		

Anexo 7: Valores experimentales de β -caroteno en el secado del aguaymanto

Tabla 29. Concentración del β -caroteno por triplicado.

Tiempo (h)	Concentración de β -caroteno a 40 °C (mg/l)	Concentración de β -caroteno a 50 °C (mg/l)	Concentración de β -caroteno a 60 °C (mg/l)
0	2.24415	2.24415	2.24415
0	2.33302	2.33302	2.33302
0	2.39968	2.39968	2.39968
2	2.19001	2.16336	2.03943
2	2.27344	2.26638	2.14677
2	2.31515	2.29214	2.17361
4	2.09943	1.90069	1.60290
4	2.17120	2.03087	1.78100
4	2.24298	2.13502	1.80326
6	1.95921	1.67673	1.45055
6	1.97735	1.85730	1.52896
6	2.03178	1.83150	1.60737
8	1.85280	1.67907	1.15765
8	1.95928	1.59782	1.26896
8	2.04447	1.73323	1.20217
10	1.84228	1.39962	1.06421
10	1.93107	1.52239	1.17989
10	1.90887	1.47328	1.20302
12	1.72734	1.39164	0.86655
12	1.76409	1.34815	0.90722
12	1.80084	1.41339	0.93321
14	1.65420	1.14274	
14	1.76597	1.29857	
14	1.76597	1.35051	
16	1.62044	1.18610	
16	1.64427	1.16189	
16	1.69193	1.25872	
18	1.51136	1.01095	
18	1.61559	1.05139	

18	1.66771	1.09183
20	1.52989	
20	1.58453	
20	1.61185	
22	1.40803	
22	1.45517	
22	1.53043	

Anexo 8: Datos empleados para el cálculo de la velocidad de reacción de degradación del ácido ascórbico y β -caroteno

Tabla 30. Datos empleados para determinar las velocidades de reacción.

Características del fruto	Unidad	Valor
β -caroteno		
Masa del fruto	g	4.9800
Radio	m	0.0091
Volumen Aguaymanto	l	0.0032
Peso molecular del β -caroteno	g/mol	536.888
Masa de β -caroteno/100 g muestra	mg	2.326
Masa de β -caroteno/ un fruto de aguaymanto	mg	0.1158
Concentración de β -caroteno en un fruto	g/l	0.0364
Concentración de β -caroteno	mol/l	0.0001
Concentración de β -caroteno	mmol/l	0.0678
Ácido ascórbico		
Masa del fruto	g	4.9800
Radio	m	0.0091
Volumen Aguaymanto	l	0.0032
Peso molecular del ácido ascórbico	g/mol	176.120
Masa del ácido ascórbico /100 g muestra	mg	41.5691
Masa del ácido ascórbico / un fruto de aguaymanto	mg	2.0701
Concentración del ácido ascórbico en un fruto	g/l	0.6504
Concentración del ácido ascórbico	mol/l	0.0037
Concentración del ácido ascórbico	mmol/l	3.6932

Las velocidades de reacciones se determinan mediante la Ecuación 24:

$$Vr_{AA;B-caroteno} = k_{AA;B-caroteno} * C_{AA;B-caroteno} \quad \text{Ecuación 24}$$

Donde:

$Vr_{AA;B-caroteno}$ es la velocidad de reacción de degradación del ácido ascórbico y β -caroteno (h^{-1}); k la constante de velocidad de reacción previamente corregida por la temperatura tanto para el ácido ascórbico y β -caroteno (h^{-1}) y $C_{AA;B-caroteno}$ la concentración de ácido ascórbico y β -caroteno (mmol/l).

Anexo 9. Pruebas de Múltiple Rangos para la velocidad de reacción de degradación del ácido ascórbico por tratamiento.

Método: 95.0 porcentaje LSD

Tratamiento	Casos	Media	Grupos Homogéneos
40 °C	3	0.0794667	X
50 °C	3	0.146433	X
60 °C	3	0.260033	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
1 - 2	*	-0.0669667	0.00258443
1 - 3	*	-0.180567	0.00258443
2 - 3	*	-0.1136	0.00258443

* indica una diferencia significativa.

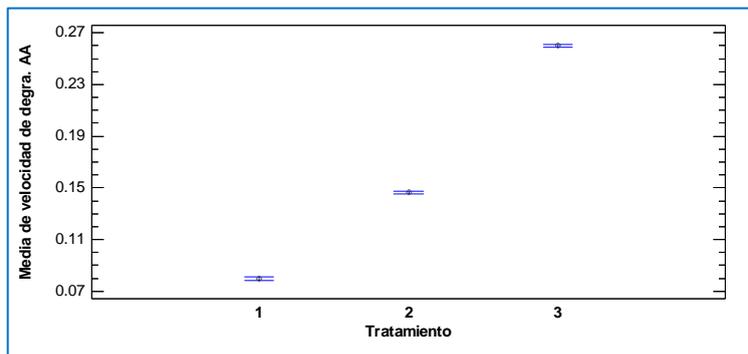


Figura 28. Media y 95 % de Fisher LSD

Anexo 10. Pruebas de Múltiple Rangos para la velocidad de reacción del β -caroteno por Tratamiento.

Método: 95.0 porcentaje LSD

Tratamiento	Casos	Media	Grupos Homogéneos
1	3	0.00144	X
2	3	0.00287467	X
3	3	0.00550433	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
1 - 2	*	-0.00143467	0.0000505653
1 - 3	*	-0.00406433	0.0000505653
2 - 3	*	-0.00262967	0.0000505653

* indica una diferencia significativa.

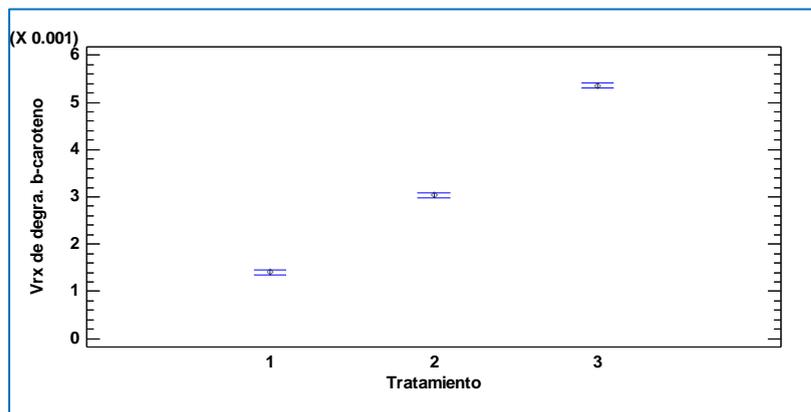


Figura 29. Media y 95 % LSD.

Anexo 11. Predicción de la degradación de los compuestos estudiados.

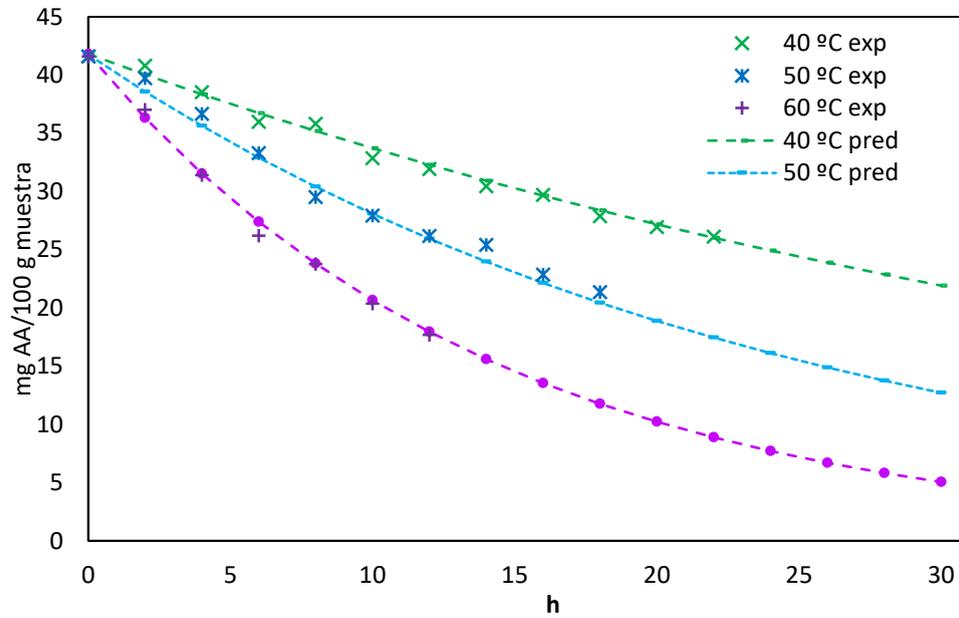


Figura 30. Degradación del ácido ascórbico en el secado del aguaymanto durante 30 h.

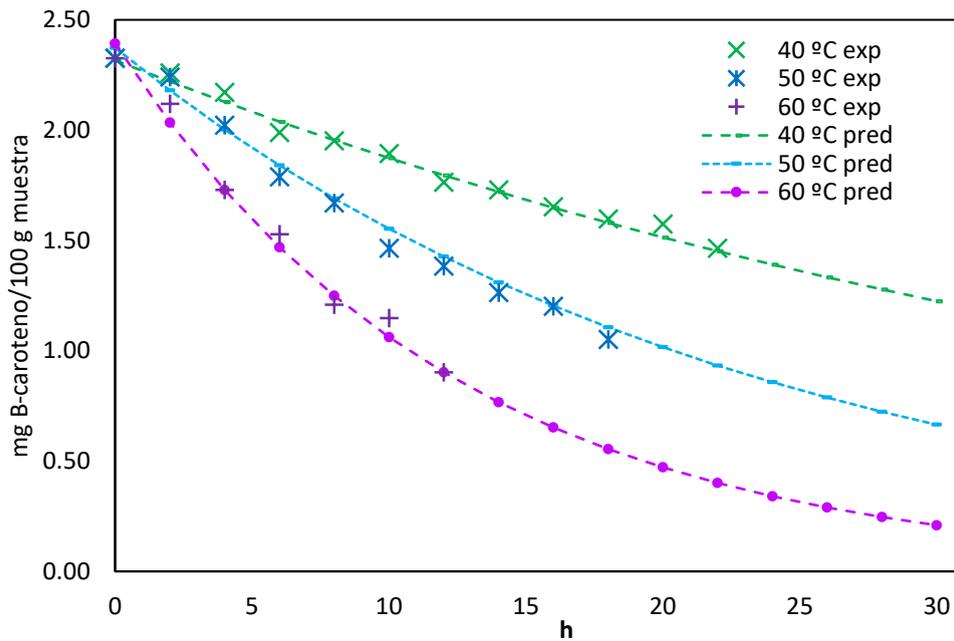


Figura 31. Degradación del β -caroteno en el secado del aguaymanto durante 30 h.

Anexo 12: Matriz de Consistencia

Tabla 31. Matriz de consistencia.

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	METODO
General					
¿Cuál es la influencia de la temperatura en la velocidad de reacción de degradación del ácido ascórbico y β -caroteno durante el secado convectivo del aguaymanto (<i>Physalis peruviana</i> L.) cultivada en la unidad vecinal de Chumbibamba?	Evaluar la influencia de la temperatura en la velocidad de reacción de degradación del ácido ascórbico y β -caroteno durante el secado convectivo del aguaymanto (<i>Physalis peruviana</i> L.) cultivada en la unidad vecinal de Chumbibamba.	La temperatura influye en la velocidad de reacción de degradación del ácido ascórbico y β -caroteno durante el secado convectivo del aguaymanto (<i>Physalis peruviana</i> L.) cultivada en la unidad vecinal de Chumbibamba.	<p style="text-align: center;">Variable independiente</p> <ul style="list-style-type: none"> • 40 °C • 50 °C • 60 °C 		
Específicos					
¿Cuál es la influencia de la temperatura en la velocidad de reacción de degradación del ácido ascórbico durante el secado convectivo del aguaymanto (<i>Physalis peruviana</i> L.) cultivada en la unidad vecinal de Chumbibamba?	Evaluar la influencia de la temperatura en la velocidad de reacción de degradación del ácido ascórbico durante el secado convectivo del aguaymanto (<i>Physalis peruviana</i> L.) cultivada en la unidad vecinal de Chumbibamba.	La temperatura influye en la velocidad de reacción de degradación del ácido ascórbico durante el secado convectivo del aguaymanto (<i>Physalis peruviana</i> L.) cultivada en la unidad vecinal de Chumbibamba.	<p style="text-align: center;">Variable dependiente</p> <p>Velocidad de reacción de degradación del ácido ascórbico.</p>	Velocidad de reacción de degradación del ácido ascórbico.	Espectrometría

¿Cuál es la influencia de la temperatura en la velocidad de reacción de degradación del β -caroteno durante el secado convectivo del aguaymanto (<i>Physalis peruviana</i> L.) cultivada en la unidad vecinal de Chumbibamba?	Evaluar la influencia de la temperatura en la velocidad de reacción de degradación del β -caroteno durante el secado convectivo del aguaymanto (<i>Physalis peruviana</i> L.) cultivada en la unidad vecinal de Chumbibamba.	La temperatura influye en la velocidad de reacción de degradación del β -caroteno durante el secado convectivo del aguaymanto (<i>Physalis peruviana</i> L.) cultivada en la unidad vecinal de Chumbibamba.	Velocidad de reacción de degradación del β -caroteno.	Velocidad de reacción de degradación del β -caroteno.	Espectrometría
¿Cuál es orden de la velocidad de reacción de degradación del ácido ascórbico durante el secado convectivo del aguaymanto (<i>Physalis peruviana</i> L.) cultivada en la unidad vecinal de Chumbibamba?	Determinar el orden de la velocidad de reacción de degradación del ácido ascórbico durante el secado convectivo del aguaymanto (<i>Physalis peruviana</i> L.) cultivada en la unidad vecinal de Chumbibamba	El orden de la velocidad de reacción de degradación del ácido ascórbico durante el secado convectivo del aguaymanto (<i>Physalis peruviana</i> L.) cultivada en la unidad vecinal de Chumbibamba es de orden 1.	Orden de velocidad de reacción de degradación del ácido ascórbico.	Orden de velocidad de reacción de degradación del ácido ascórbico.	Cálculo matemático
¿Cuál es orden de la velocidad de reacción de degradación del β -caroteno durante el secado convectivo del aguaymanto (<i>Physalis peruviana</i> L.) cultivada en la unidad vecinal de Chumbibamba?	Determinar el orden de la velocidad de reacción de degradación del β -caroteno durante el secado convectivo del aguaymanto (<i>Physalis peruviana</i> L.) cultivada en la unidad vecinal de Chumbibamba	El orden de la velocidad de reacción de degradación del β -caroteno durante el secado convectivo del aguaymanto (<i>Physalis peruviana</i> L.) cultivada en la unidad vecinal de Chumbibamba es de orden 1.	Orden de velocidad de reacción de degradación del β -caroteno.	Orden de velocidad de reacción de degradación del β -caroteno.	Cálculo matemático

<p>¿Cuál es la energía de activación de degradación del ácido ascórbico durante el secado convectivo del aguaymanto (<i>Physalis peruviana</i> L.) cultivada en la unidad vecinal de Chumbibamba?</p>	<p>Estimar la energía de activación de degradación del ácido ascórbico durante el secado convectivo del aguaymanto (<i>Physalis peruviana</i> L.) cultivada en la unidad vecinal de Chumbibamba.</p>	<p>La energía de activación de degradación del ácido ascórbico durante el secado convectivo del aguaymanto (<i>Physalis peruviana</i> L.) cultivada en la unidad vecinal de Chumbibamba es alta.</p>	<p>La energía de activación de degradación del ácido ascórbico.</p>	<p>La energía de activación de degradación del ácido ascórbico.</p>	<p>Cálculo matemático</p>
<p>¿Cuál es la energía de activación de degradación del β-caroteno durante el secado convectivo del aguaymanto (<i>Physalis peruviana</i> L.) cultivada en la unidad vecinal de Chumbibamba?</p>	<p>Estimar la energía de activación de degradación del β-caroteno durante el secado convectivo del aguaymanto (<i>Physalis peruviana</i> L.) cultivada en la unidad vecinal de Chumbibamba.</p>	<p>La energía de activación de degradación del β-caroteno durante el secado convectivo del aguaymanto (<i>Physalis peruviana</i> L.) cultivada en la unidad vecinal de Chumbibamba es elevada.</p>	<p>La energía de activación de degradación del β-caroteno.</p>	<p>La energía de activación de degradación del β-caroteno.</p>	<p>Cálculo matemático</p>

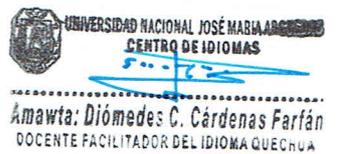
CONSTANCIA

EL QUE SUSCRIBE EL PRESENTE DOCUMENTO, Prof. DIOMEDES CAYO CARDENAS F. hace constar que:

Se ha traducido del idioma español a la lengua quechua el resumen de la tesis titulado: **Influencia de la Temperatura en la Velocidad de Reacción de Degradación del Ácido Ascórbico y β -Caroteno Durante el Secado Convectivo del Aguaymanto (*Physalis Peruviana* L.) Cultivado en la Unidad Vecinal de Chumbibamba**, para optar el título profesional de Ingeniero Agroindustrial. Dicho trabajo corresponde a la Bachiller en Ingeniería Agroindustrial Beatriz Damiano Vásquez, egresada de la Escuela profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad José María Arguedas.

Se emite la presente constancia a petición de la interesada.

Andahuaylas, 17 de diciembre de 2019



Prof. Diómedes Cayo Cárdenas F.

Traductor