

## Efecto de temperatura, presentación, tiempo y tipo de envase en la degradación de vitamina C en mandarina (*Citrus unshiu*) mínimamente procesada y su modelamiento cinético óptimo

### Effect of temperature, presentation, time and type of container on the degradation of vitamin C in minimally processed mandarin (*Citrus unshiu*) and its optimal kinetic modeling

Harold Ore <sup>1</sup>, Williams Aldana <sup>2</sup>, Carlos Salazar <sup>3</sup>, Alfredo Ludeña <sup>4</sup>

#### RESUMEN

La investigación tuvo como finalidad evaluar el efecto de la temperatura, tipo de empaque, tipo de presentación, y tiempo en la degradación de la vitamina C en la mandarina mínimamente procesada y determinar el modelo cinético óptimo. El diagrama de flujo del proceso fue: recepción, lavado-selección, sanitización 1, pelado, sanitización 2, enjuague, drenado, pesado, embalado y almacenamiento. En la investigación se evaluó la degradación de la vitamina C, por un período de 10 días; se utilizó el Diseño Factorial Cuadrático 3x3x3x2: con 3 temperaturas (3, 5, 7 °C), a 03 tipos de empaque (bandeja espumada PS expandido y film PVC, envase PP, Sin empaque), 03 Tiempo (0, 5, 10 días) y a 02 tipos de presentaciones (entero y gajos); además se utilizó el Método de Superficie Respuesta aleatorizado regular de dos niveles para determinar el modelo cinético de degradación. Como resultado: según el ANOVA para modelo cuadrático en la variable Respuesta de Contenido de Vitamina C, las variables independientes significativas fueron la temperatura y el tiempo con valores P inferiores a 0.05. El mejor tratamiento fue: presentación entera y bandeja espumada PS expandido y film PVC, según Software estadístico Design Expert 12.0. Con el modelo cinético óptimo: Contenido de Vitamina C =  $32.036 - 1.747 * \text{Tiempo} - 1.7837 * \text{Temperatura} - 0.1125 * \text{Tiempo} * \text{Temperatura} + 0.0871 * \text{Tiempo}^2 + 0.1376 * \text{Temperatura}^2$ ; con un  $R^2 = 0.9848$ .

**Palabras clave:** Vitamina C, temperatura, gráfico de contorno, gráfico de interacción.

#### ABSTRACT

The purpose of the research was to evaluate the effect of temperature, type of packaging, type of presentation, and time in the degradation of vitamin C in minimally processed mandarin and determine the optimal kinetic model. The flow diagram of the process was: reception, washing-selection, sanitization 1, peeling, sanitization 2, rinsing, draining, weighing, packing and storage. The research evaluated the degradation of vitamin C, for a period of 10 days; The 3x3x3x2 Quadratic Factorial Design was used: with 3 temperatures (3, 5, 7 °C), at 03 types of packaging (expanded PS foam tray and PVC film, PP container, No packaging), 03 Time (0, 5, 10 days) and to 02 types of presentations (whole and segments); in addition, the two-level regular randomized Surface Response Method was used to determine the degradation kinetic model. As a result: according to the ANOVA for quadratic model in the response variable of Vitamin C Content, the significant independent variables were temperature and time with P values lower than 0.05. The best treatment was: whole presentation and foamed tray PS expanded and PVC film, according to Statistical Software Design Expert 12.0. With the optimal kinetic model: Vitamin C Content =  $32.036 - 1.747 * \text{Time} - 1.7837 * \text{Temperature} - 0.1125 * \text{Time} * \text{Temperature} + 0.0871 * \text{Time}^2 + 0.1376 * \text{Temperature}^2$ ; with an  $R^2 = 0.9848$

**Keywords:** Vitamin C, temperature, Contour graph, interaction graph

DOI: <https://doi.org/10.37787/pakamuros-unj.v8i1.127>

Recibido: 20/01/2020. Aceptado: 18/06/2020

\* Autor para correspondencia

1. Universidad Nacional de Frontera, Sullana, Piura, Perú. Email: [Hore@unf.edu.pe](mailto:Hore@unf.edu.pe)

2. Universidad Nacional de Frontera, Sullana, Piura, Perú. Email: [Waldana@unf.edu.pe](mailto:Waldana@unf.edu.pe)

3. Universidad Nacional de Frontera, Sullana, Piura, Perú. Email: [Csalazar@unf.edu.pe](mailto:Csalazar@unf.edu.pe)

4. Universidad Nacional de Piura, Piura, Perú. Email: [Aludenag@unp.edu.pe](mailto:Aludenag@unp.edu.pe)

## INTRODUCCIÓN

Un agente reductor y antioxidante imprescindible es la Vitamina C, la cual es necesaria para la creación y sostenimiento correcto del material extracelular; disminuye la actividad negativa desarrollada por los radicales libres y contribuye en la asimilación del hierro no hemínico (Calabrese G., 2013). La falta de este agente reductor en los humanos, puede generar sangrados, problemas de anemia, lento proceso de cicatrización de heridas; su poder de acción está ligado a prevenir el escorbuto (Walter, 1994).

Dentro de ellas, la vitamina C colabora en el crecimiento del tejido conectivo, la transformación y asimilación de lípidos y vitaminas. Primordial para la biosíntesis de moléculas y compuestos que impiden la peroxidación de los fosfolípidos de membrana y participan en los procesos de eliminación de radicales libres (Calabrese G., 2013)

El mandarino común más cultivado mundialmente por su gran adecuación a los factores climáticos es el *Citrus reticulata blanco* (Anderson, 1996). La actividad biológica y capacidad antioxidante de los cítricos, especialmente, las frutas, se relaciona con la presencia de metabolitos activos, entre ellos, fenoles, flavonoides y vitaminas (Stinco, 2015). La mandarina es reconocida por sus propiedades efectivas en problemas gastroentéricos. Posee carotenoides, flavonoides, fructosa, vitamina E y C como parte de su composición (Lee K. E., 2016)

Su presencia es disminuida de forma significativa en el proceso de la fruta y la hortaliza, por la interacción con la temperatura, interacción con la luz, interacción con el oxígeno, la variación de presión, la concentración de iones hidrogeno- pH, entre otros. Modelos cinéticos analizados determinan que la degradación por medio de la temperatura de este antioxidante en distintos alimentos corresponde a un modelo cinético de primer orden (Dhuique-Mayer C, 2007).

La modelación matemática de la degradación referente a la temperatura de la vitamina C en la guayaba, para un intervalo de temperaturas de 75-95 °C se redujo entre 56,70-60 % en contenido. Concluye en que el contenido de la vitamina C determinada en la guayaba presenta una disminución significativa al aumentar la temperatura y el tiempo de exposición (Ordoñez L. , 2013)

El modelamiento cinético de degradación de la vitamina C en función de la temperatura de conservación para un producto alimentario compuesto de lactosuero y pulpa de mango; determinó que la vitamina C fue más estable en el producto que se conservó a 4 °C, con una concentración de  $13,94 \pm 1,2$  mg/100 g por muestra, dando un modelamiento cinético de primer orden. Las temperaturas evaluadas estuvieron en los rangos de 4 °C y 28 °C. (Mendoza, 2017)

Teniendo en cuenta los presentes estudios mencionado, existe un faltante de investigaciones para analizar y determinar el modelo cinético de degradación de la vitamina C en función de la temperatura en el procesamiento y almacenamiento de la mandarina mínimamente procesada, la cual tiene un interés primordial para determinar nuevos procedimientos que ayuden a obtener la mayor retención de

esta vitamina, por lo tanto, el presente trabajo planteó como objetivo estudiar la degradación térmica de la vitamina C, de mandarina mínimamente procesada almacenada a diferentes temperaturas, con distintas presentaciones envasado en distintos tipos de envases.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

La investigación se desarrolló en la Universidad Nacional de Frontera de la ciudad de Sullana – Piura; en los laboratorios de Tecnología de los Alimentos y de Ingeniería de los Alimentos.

### **Materiales:**

En la investigación se utilizaron los siguientes materiales: Mandarina variedad Satsuma (*Citrus unshiu*), envases de polipropileno - PP, bandejas espumadas PS expandido y films PVC.

### **Equipos:**

Para la investigación se utilizaron los siguientes equipos:

- Espectrofotómetro Boeco S200
- Mufla
- Refractómetro 0 – 50% °Brix RHB-50/ATC
- Refrigeradora Samsung.
- pH-metro Hanna.
- Equipo de Titulación.

### **Proceso de elaboración de mandarina mínimamente procesada**

Las etapas del proceso fueron: recepción, lavado-selección, sanitización 1, pelado (entero), sanitización 2, enjuague, drenado, pesado, embalado (bandeja espumada PS expandido y film PVC, envase PP, SE) y almacenamiento (3, 5, 7 °C). Se realizó las pruebas fisicoquímicas, determinando la humedad, cenizas, ° brix, acidez titulable, pH.

### **Determinación del contenido de ácido ascórbico**

Se utilizó el método espectrofotométrico (Ciancaglini, Santos, Daghanli, & Thedei Jr, 2001) que se basa en la reducción del colorante 2,6-diclorofenolindofenol, por efecto del ácido ascórbico en solución. Primero se ajustó la absorbancia a cero con agua destilada, a una longitud de onda de 560 nm, luego se lee la absorbancia con un tubo que contiene 1 ml de ácido oxálico 0.4% más 9 ml. de solución coloreada 2,6-diclorofenolindofenol, determinándose de esta manera L1. Se colocó en un tubo 1 ml de filtrado (muestra) más 9 ml. de agua destilada y con este tubo se ajustó la absorbancia. En otro tubo se colocó 1 ml. de filtrado (muestra) más 9 ml. De solución coloreada 2,6-diclorofenolindofenol, y se registra la absorbancia (L2) después de 15 seg. Luego se calculó (L2-L1) para determinar el contenido de ácido ascórbico a partir de una curva patrón.

### **Análisis estadístico para procesamiento de datos**

Para el análisis estadístico, se utilizó el Diseño Factorial Cuadrático 3x3x3x2 con 3 repeticiones, las variables analizadas fueron: 03 temperaturas, 03 tipos de empaque, 03 tiempos y 02 tipos de presentaciones, con la intención de evaluar el efecto de esas variables sobre la degradación de la

vitamina C en la mandarina mínimamente procesada. Además, se utilizó el método de superficie respuesta para determinar los parámetros óptimos que retardan la degradación de la vitamina C. para este análisis se utilizó el programa Design Expert 12.0.

Tabla 1. Definiciones de variables y niveles del Diseño Factorial Cuadrático para la Mandarina mínimamente procesada

Variables	Nombre	Unids	Tipo	Mínimo	Medio	Máximo	Mean	Std. Dev.
<b>A</b>	Tiempo	días	Numérico	0	5	10	5.00	4.12
<b>B</b>	Temperatura	°C	Numérico	3	5	7	5.00	1.65
<b>C</b>	Tipo de Envase		Categorico	Envase PP	bandeja espumada PS expandido y film PVC	Sin envase	<b>Niveles:</b>	3.00
<b>D</b>	Presentación		Categorico	Entero	-	Gajos	<b>Niveles:</b>	2.00

Tabla 2. Variable respuesta del Diseño Factorial Cuadrático para la Mandarina variedad Satsuma mínimamente procesada.

Respuesta	Nombre	Unidad	Análisis	Modelo
<b>R1</b>	Contenido de Vitamina C	mg/100 g	Polinomio	Cuadrático

Se admite que la relación matemática que relaciona las respuestas con las variables independientes se asemejar con un polinomio de orden 2, obteniendo la siguiente estructura:

$$Y = b_0 + b_1 \cdot X_1 + b_2 \cdot X_2 + b_3 \cdot X_{31} + b_4 \cdot X_{32} + b_5 \cdot X_4 + b_6 \cdot X_1 \cdot X_2 + b_7 \cdot X_1 \cdot X_{31} + b_8 \cdot X_1 \cdot X_{32} + b_9 \cdot X_1 \cdot X_4 + b_{10} \cdot X_2 \cdot X_{31} + b_{11} \cdot X_2 \cdot X_{32} + b_{12} \cdot X_2 \cdot X_4 + b_{13} \cdot X_{31} \cdot X_4 + b_{14} \cdot X_{32} \cdot X_4 + b_{15} \cdot X_1^2 + b_{16} \cdot X_2^2$$

Donde:

- $X_1$ : Temperatura;  $X_2$ : Tiempo;  $X_{31}$  y  $X_{32}$ : Tipo de empaque;  $X_4$ : Presentación
- $b_0, b_1, b_2, b_3, \dots, b_{16}$ : son los coeficientes de regresión.

## RESULTADOS

### Caracterización de la mandarina

La caracterización físico-química de la mandarina se desarrolló en el Laboratorio de Ingeniería de los Alimentos de la Universidad Nacional de Frontera; y se hizo en base al contenido de humedad, acidez titulable, cenizas, sólidos solubles (°Brix), pH, vitamina C. Los valores promedios se reportaron en la Tabla 3.

Tabla 3. Composición Físico-Químico de la Materia Prima (Mandarina)

Características	Valor
Humedad (%)	86,914
Cenizas (%)	0,48
°Brix	8,74

pH	4,018
Acidez Titulable (meq Ac. cítrico)	0,3565
Vitamina C (mg/100 gr. De muestra)	27,3868

El contenido de humedad de la mandarina fue de 86.914 % y lo reportado por (Pahua, 2010) de 86.80%; esta disminución en pérdida de peso, se deberá que los productos en condición frescos pierden agua después de la cosecha.

El contenido de cenizas en la mandarina fue de 0.48 gr., el cual es similar a lo reportado por Pahua (2010), que obtuvo 0.36 gr.

Los sólidos solubles en la mandarina fueron de 8.74 °Brix; lo cuál es ligeramente mayor a los datos encontrados por Pahua (2010) que establece una cantidad de 8.34 °Brix.

El porcentaje de acidez titulable de la mandarina obtenida fue de 0.3565 (meq ácido cítrico) el cuál es ligeramente menor a los datos reportados por Pahua (2010), que establece una cantidad encontrada de 0.34 de acidez (meq ácido cítrico).

El pH obtenido para la mandarina fue de 4.018; el cuál es similar a lo reportado por Pahua (2010), que obtuvo una cantidad de 4.35, esto debido a la madures de la mandarina.

La cantidad de vitamina C, en la mandarina fue de 27.3868 mg/100 g. de muestra, el cual es menor a lo reportado por (Promperu, 2020) de 35 mg/100 g. de muestra. Esta degradación del contenido de vitamina C, se puede deber a diversos factores como el pH, calor, oxígeno, la luz etc.; a que es expuesta la fruta desde la cosecha al centro de comercialización, de la cual obtuvimos la fruta.

### **Efecto de la presentación, tiempo, temperatura y tipo de empaque en la degradación de la vitamina C**

La descripción cuantitativa de los efectos de las disposiciones físicas en la reducción de la vitamina C fueron reportados mediante un modelo empírico, en gráficos de interacción, de contorno y de superficie de respuesta. Donde las variables independientes fueron; temperatura, tiempo, presentación, y tipo de empaque; cuya variable respuesta fue contenido de Vitamina C.

Tabla 4. Resultados de la Conservación de la vitamina C de la Mandarina Mínimamente Procesada para las Diversas Condiciones según el Diseño Factorial cuadrático, en el tiempo

Run	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Respuesta 1
-----	----------	----------	----------	----------	-------------

	<b>A: Tiempo Dias</b>	<b>B: Temp ° C</b>	<b>C: Tipo de envase</b>	<b>D: Present</b>	<b>Cont. de vit C mg/100 g</b>
1	10	3	bandeja espumada PS expandido y film PVC	Entero	16.237
2	10	3	Sin envase	Entero	12.5241
3	0	7	Envase PP	Gajos	26.5225
4	5	7	Envase PP	Gajos	13.8811
5	0	5	Envase PP	Gajos	26.5225
6	10	7	Sin envase	Entero	8.9523
7	10	5	Sin envase	Entero	10.2153
8	0	5	bandeja espumada PS expandido y film PVC	Entero	26.5225
9	10	3	Sin envase	Gajos	12.3489
10	0	3	bandeja espumada PS expandido y film PVC	Entero	26.5225
11	5	5	Sin envase	Entero	15.3591
12	0	7	Sin envase	Gajos	26.5225
13	5	3	Sin envase	Gajos	18.3074
14	5	7	Envase PP	Entero	14.9279
15	0	3	Sin envase	Entero	26.5225
16	10	3	bandeja espumada PS expandido y film PVC	Gajos	15.9614
17	5	3	Envase PP	Gajos	19.2748
18	10	5	Envase PP	Entero	11.3499
19	10	5	Envase PP	Gajos	12.0563
20	0	5	Sin envase	Entero	26.5225
21	0	3	bandeja espumada PS expandido y film PVC	Gajos	26.5225
22	5	3	Envase PP	Entero	19.7027
23	10	7	bandeja espumada PS expandido y film PVC	Entero	9.3342
24	10	5	Sin envase	Gajos	9.9684
25	0	5	Envase PP	Entero	26.5225
26	10	5	bandeja espumada PS expandido y film PVC	Entero	10.9334
27	0	7	bandeja espumada PS expandido y film PVC	Entero	26.5225
28	5	5	bandeja espumada PS expandido y film PVC	Entero	17.4685
29	5	3	bandeja espumada PS expandido y film PVC	Gajos	20.9778
30	10	5	bandeja espumada PS expandido y film PVC	Gajos	11.0487
31	10	3	Envase PP	Gajos	13.6534
32	5	7	bandeja espumada PS expandido y film PVC	Entero	16.1982
33	0	5	Sin envase	Gajos	26.5225
34	10	7	Envase PP	Entero	10.6534
35	0	3	Sin envase	Gajos	26.5225
36	10	7	Sin envase	Gajos	8.6253
37	0	5	bandeja espumada PS expandido y film PVC	Gajos	26.5225
38	5	5	Sin envase	Gajos	14.8515
39	0	7	Envase PP	Entero	26.5225
40	5	7	bandeja espumada PS expandido y film PVC	Gajos	15.9009
41	5	5	Envase PP	Entero	16.5361
42	10	7	Envase PP	Gajos	10.2486
43	0	3	Envase PP	Gajos	26.5225
44	5	3	Sin envase	Entero	18.4432
45	5	7	Sin envase	Gajos	12.8139
46	0	7	Sin envase	Entero	26.5225
47	0	7	bandeja espumada PS expandido y film PVC	Gajos	26.5225
48	10	3	Envase PP	Entero	13.297
49	5	7	Sin envase	Entero	13.3923
50	0	3	Envase PP	Entero	26.5225
51	5	5	bandeja espumada PS expandido y film PVC	Gajos	17.4505
52	5	5	Envase PP	Gajos	15.9505
53	10	7	bandeja espumada PS expandido y film PVC	Gajos	9.2045
54	5	3	bandeja espumada PS expandido y film PVC	Entero	21.3335

### **Análisis de la varianza de la respuesta en contenido de la vitamina C**

En la Tabla 5 se muestra el análisis de la varianza (ANOVA) para las respuestas en la conservación de la Vitamina C, indicando que la fuente de variabilidad “modelo” se ha subdividido en varios componentes. Los componentes “A”, “A<sup>2</sup>”, “B”, “B<sup>2</sup>”, representan los efectos lineales y/o cuadráticos de tiempo y temperatura; y “C”, “D” representan el tipo de empaque y presentación. Cabe mencionar que la temperatura y tiempo son factores cuantitativos con 3 niveles cada uno, el tipo de empaque y la presentación son factores cualitativos con 3 niveles y 2 niveles respectivamente. Los términos AB, AC, AD, BC, BD, CD son las interacciones lineales de los factores tiempo con la temperatura, Tiempo con el tipo de empaque, Tiempo con la presentación, temperatura con tipo de empaque, temperatura con presentación y tipo de empaque con presentación.

Se observa que la significancia de cada efecto fue determinada utilizando el valor p\_ valor ( $P < 0.05$ ), donde el valor p\_ valor más pequeño indica la significancia alta del coeficiente para nuestro caso los valores P indican que todos los términos A, B, C, AB, A<sup>2</sup>, B<sup>2</sup> son significativos, los cuales tienen un efecto notable en la conservación de la vitamina C.

El ajuste del modelo fue expresado por el coeficiente de determinación R<sup>2</sup> el cuál fue de 0.9848. El estadístico R<sup>2</sup> indica que el 98.48% de la variabilidad en la respuesta puede ser explicada por el modelo. El valor también indica que sólo el 1.52% de la variación total no se explica por el modelo. La siguiente sección del programa también incluye los coeficientes en término de Factores y el error estándar del modelo (ver Tabla 7) y un modelo conveniente para describir la respuesta del experimento que indica el contenido de Vitamina C.

Tabla 5. ANOVA para modelo cuadrático para la Respuesta de Contenido de Vitamina C

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	Valor-F	Valor-P	
Modelo	2248.69	16	140.54	149.33	< 0.0001	significante
<b>A-Tiempo</b>	2036.91	1	2036.91	2164.28	< 0.0001	
<b>B-Temperatura</b>	93.21	1	93.21	99.04	< 0.0001	
<b>C-Tipo de Envase</b>	19.39	2	9.69	10.30	0.0003	
<b>D-Presentación</b>	0.3479	1	0.3479	0.3696	0.5469	
<b>AB</b>	30.38	1	30.38	32.28	< 0.0001	
<b>AC</b>	4.95	2	2.48	2.63	0.0855	
<b>AD</b>	0.0040	1	0.0040	0.0043	0.9482	
<b>BC</b>	2.71	2	1.36	1.44	0.2498	
<b>BD</b>	0.0870	1	0.0870	0.0925	0.7627	
<b>CD</b>	0.0285	2	0.0142	0.0151	0.9850	
<b>A<sup>2</sup></b>	57.02	1	57.02	60.59	< 0.0001	
<b>B<sup>2</sup></b>	3.64	1	3.64	3.86	0.0569	
Residual	34.82	37	0.9411			
Cor Total	2283.51	53				

El valor-F del modelo de 149.33 implica que es significativo. Solo hay una probabilidad de 0.01% de que un valor F tan grande pueda ocurrir debido al ruido.

Los valores P inferiores a 0.0500 indican que los términos del modelo son significativos. Para la investigación, A, B, C, AB, A<sup>2</sup> son términos significativos. Los valores superiores a 0.1000 indican no son significativos.

Tabla 6. Estadística de ajustes

Desviación estándar	<b>0.9701</b>	R <sup>2</sup>	<b>0.9848</b>
Mean	18.27	Ajuste R <sup>2</sup>	0.9782
C.V. %	5.31	Predicción R <sup>2</sup>	0.9672
		Adecuada Precisión	37.3910

El R<sup>2</sup> predicho de 0.9672 está razonablemente de acuerdo con el R<sup>2</sup> ajustado calculado en 0.9782; con una diferencia menor de 0.2. La precisión Adecuada es determinada por la relación señal / ruido. Siendo deseable una relación mayor a 4. Esta relación fue 37.391 indicando una adecuada señal.

Tabla 7. Coeficientes en término de Factores y el error estándar del modelo

Termino	Coficiente estimado	G.L.	Error Estándar	95% CI Baja	95% CI Alta	VIF
<b>Intercepciones</b>	16.45	1	0.2952	15.86	17.05	
<b>A-Tiempo</b>	-7.52	1	0.1617	-7.85	-7.19	1.0000
<b>B-Temperatura</b>	-1.61	1	0.1617	-1.94	-1.28	1.0000
<b>C[1]</b>	0.0965	1	0.1867	-0.2818	0.4748	
<b>C[2]</b>	0.6808	1	0.1867	0.3025	1.06	
<b>D-Presentación</b>	-0.0803	1	0.1320	-0.3478	0.1872	1.0000
<b>AB</b>	-1.13	1	0.1980	-1.53	-0.7239	1.0000
<b>AC[1]</b>	0.1990	1	0.2287	-0.2643	0.6623	
<b>AC[2]</b>	0.3207	1	0.2287	-0.1426	0.7840	
<b>AD</b>	-0.0106	1	0.1617	-0.3382	0.3170	1.0000
<b>BC[1]</b>	0.2577	1	0.2287	-0.2056	0.7210	
<b>BC[2]</b>	-0.3802	1	0.2287	-0.8435	0.0831	
<b>BD</b>	-0.0492	1	0.1617	-0.3768	0.2784	1.0000
<b>C[1]D</b>	0.0024	1	0.1867	-0.3759	0.3807	
<b>C[2]D</b>	0.0269	1	0.1867	-0.3514	0.4052	
<b>A<sup>2</sup></b>	2.18	1	0.2801	1.61	2.75	1.0000
<b>B<sup>2</sup></b>	0.5505	1	0.2801	-0.0170	1.12	1.0000

El cálculo del coeficiente demuestra la variación esperada en la respuesta por unidad de cambio en el valor de la variable cuando todas las variables restantes se mantienen constantes. La intercepción en un diseño ortogonal es la respuesta promedio general de todas las corridas. Cuando los factores son ortogonales, los VIF son 1. Los VIF inferiores a 10 son tolerable.

### Validación del modelo de la respuesta en contenido de Vitamina C:

Los supuestos a comprobar son normalidad y predicción

- **Supuesto de Normalidad**



La distribución aleatoria de los residuos, presentada en las Figuras 1 y 2, confirma la validez de la correlación, pues los residuos están distribuidos aleatoriamente en torno del cero, sin ninguna observación muy contradictoria y los puntos parecen respetar las probabilidades de una distribución normal.

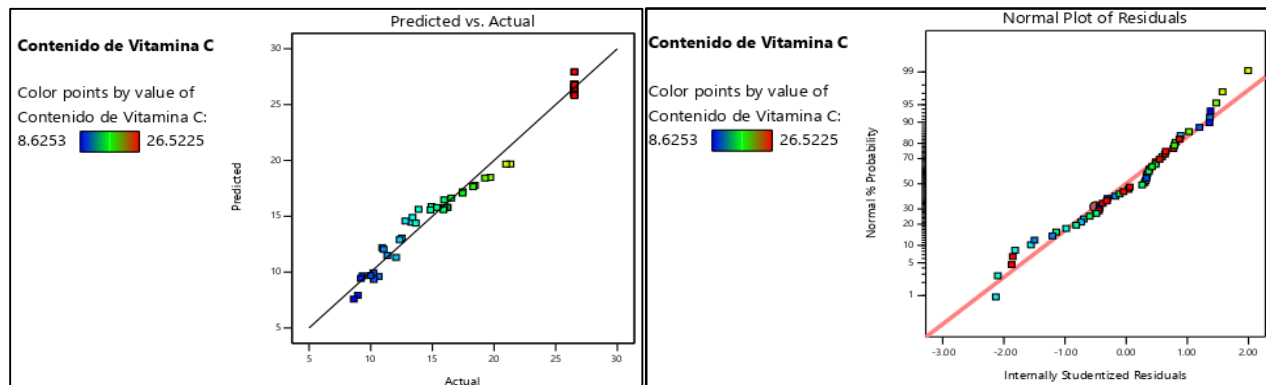


Figura 1. Gráfica de probabilidad Normal y de los puntos de los residuos de la conservación de la Vitamina C

Figura 2. Gráfica de predicción y de los puntos actuales de la conservación de la Vitamina C

### Ecuación final según los factores codificados

La ecuación según los factores codificados se puede usar para realizar predicciones sobre la variable dependiente para niveles planteados en cada variable independiente. La ecuación formulada es aplicable para determinar el impacto de las variables independientes al comparar los coeficientes de cada variable. Para la investigación la ecuación es la siguiente:

$$\begin{aligned} \text{Contenido de Vitamina C} = & 16.45 - 7.52*A - 1.61*B + 0.0965*C[1] + 0.6808*C[2] - 0.0803*D - \\ & 1.13*AB + 0.199*AC[1] + 0.32*AC[2] - 0.0106*AD + 0.2577*BC[1] - \\ & 0.3802*BC[2] - 0.0492*BD + 0.0024*C[1]D + 0.0269*C[2]D + 2.18*A^2 \\ & + 0.550*B^2 \end{aligned}$$

### Ecuación final en términos de factores Actuales

Aquí, los niveles se deben especificar en las unidades correspondientes a cada factor. Esta ecuación no debe usarse para determinar el impacto relativo de cada factor porque los coeficientes se escalan para acomodar las unidades de cada factor y la intersección no está en el centro del espacio de diseño. Las ecuaciones para la investigación realizada, son las siguientes:

- **Tipo de Envase: Envase PP – Presentación: Entero**

$$\text{Contenido de Vitamina C} = 30.004 - 1.77*B - 1.47*A - 0.113*B * A + 0.09*B^2 + 0.14*A^2$$

- **Tipo de Envase: Envase PP – Presentación: Gajos**

$$\text{Contenido de Vitamina C} = 30.115 - 1.78*B - 1.52*A - 0.113 + B * A + 0.09*B^2 + 0.138*A^2$$

- **Tipo de Envase: bandeja espumada PS expandido y film PVC – Presentación: Entero**

Contenido de Vitamina C =  $32.04 - 1.75*B - 1.78*A - 0.113*B * A + 0.087*B^2 + 0.137*A^2$

- **Tipo de Envase: Bandeja espumada PS expandido y film PVC – Presentación: Gajos**

Contenido de Vitamina C =  $32.20 - 1.75*B - 1.83*A - 0.113*B * A + 0.087*B^2 + 0.138*A^2$

- **Tipo de Envase: Sin envase – Presentación: Entero**

Contenido de Vitamina C =  $30.22 - 1.92*B - 1.53*A - 0.113*B * A + 0.09*B^2 + 0.138*A^2$

- **Tipo de Envase: Sin envase – Presentación: Gajos**

Contenido de Vitamina C =  $30.26 - 1.92*B - 1.58*A - 0.113*B * A + 0.087*B^2 + 0.138*A^2$

Donde:

A = Temperatura °C; B = Tiempo (Días); C = Tipo de envase; D = Presentación

Los gráficos de interacción y de contorno ayudan a evaluar el efecto de las variables significativas en relación con la disminución del contenido de vitamina C. Dichas gráficas se muestran a continuación:

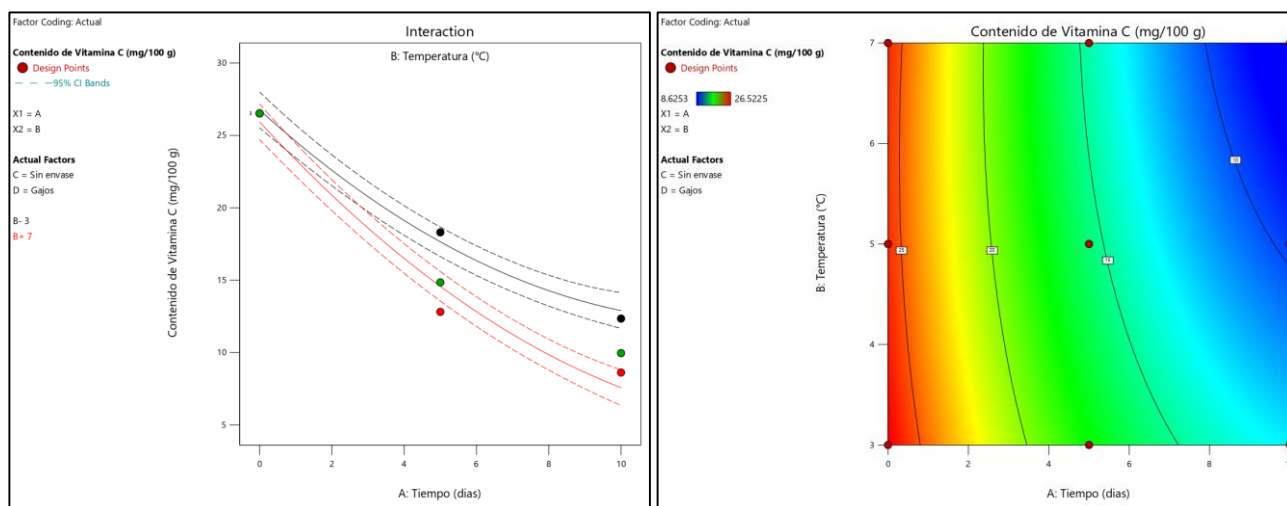


Figura 3. Gráfico de Interacción y de contorno de los factores tiempo y temperatura sobre el contenido de vitamina C (sin envase-gajos)

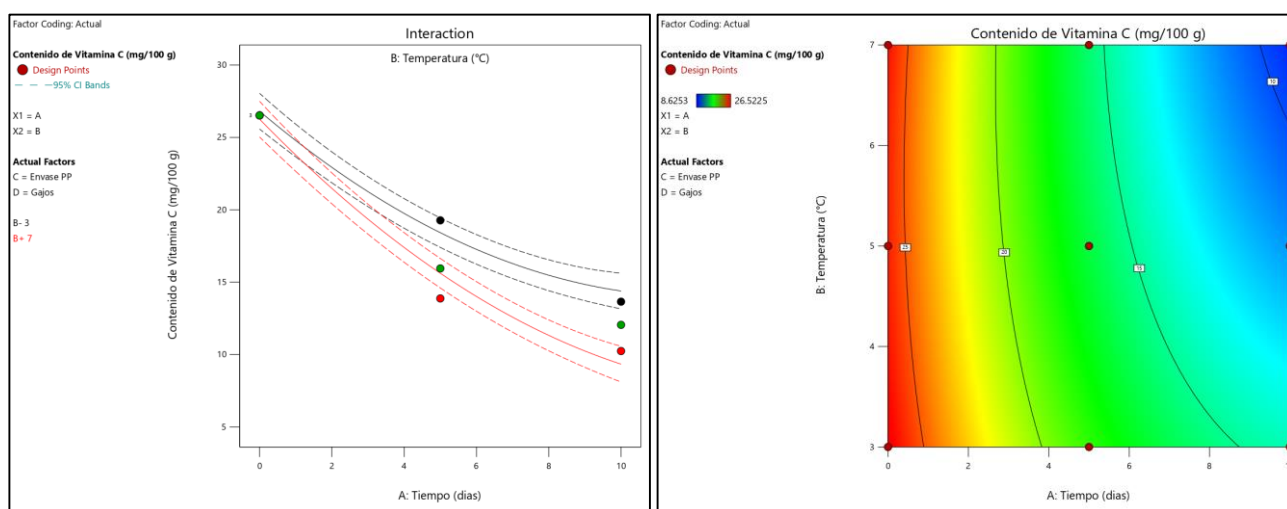


Figura 4. Gráfico de Interacción y de contorno de los factores tiempo y temperatura sobre el contenido de vitamina C (Envase PP-gajos)

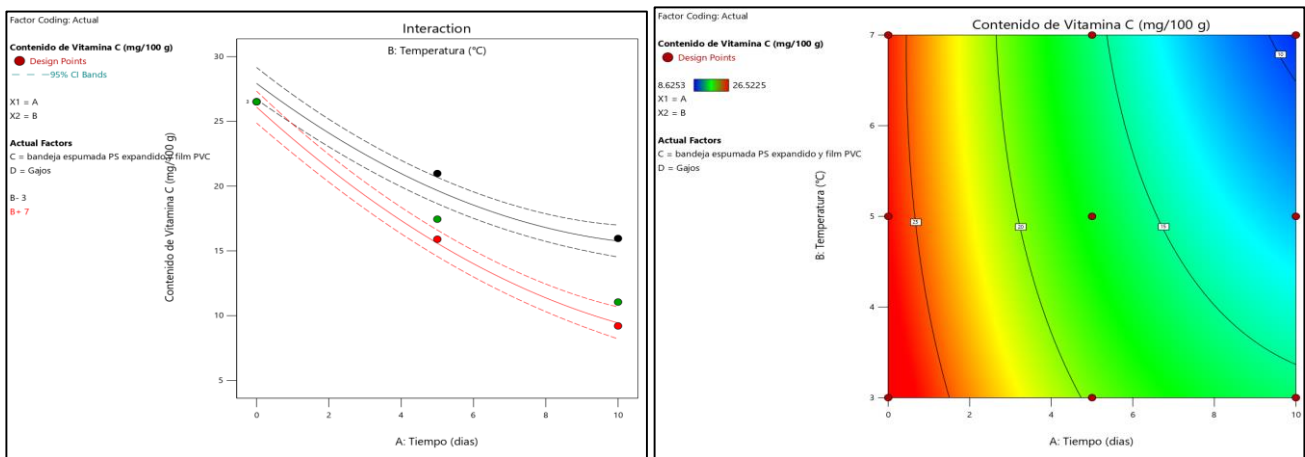


Figura 5. Gráfico de Interacción y de contorno de los factores tiempo y temperatura sobre el contenido de vitamina C (Bandeja espumada PS expandido y films PVC-gajos)

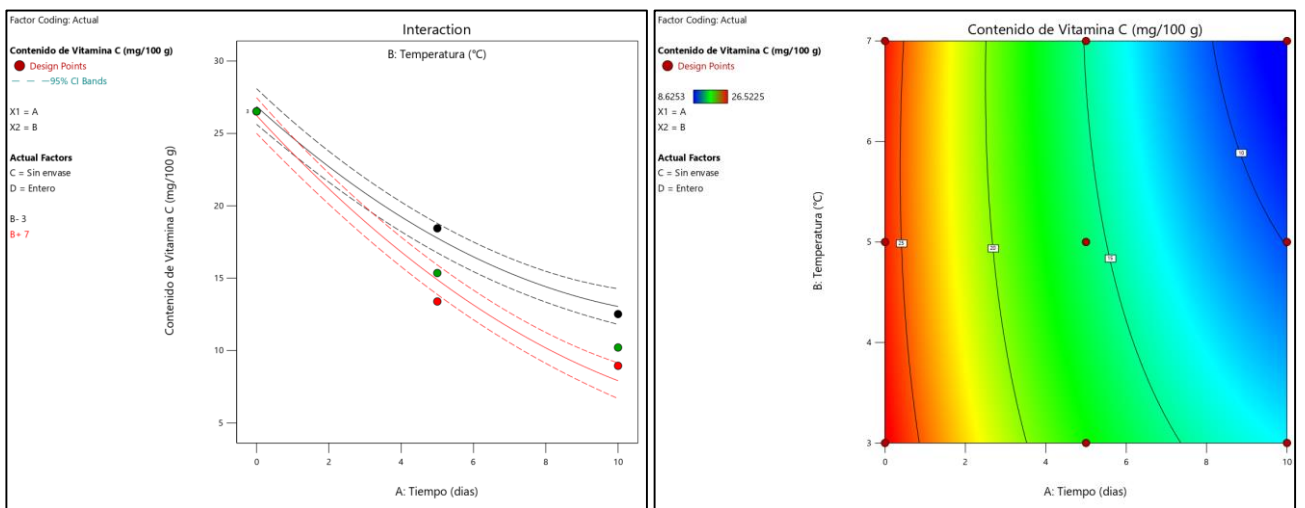


Figura 6. Gráfico de Interacción y de contorno de los factores tiempo y temperatura sobre el contenido de vitamina C (sin envase-entero)

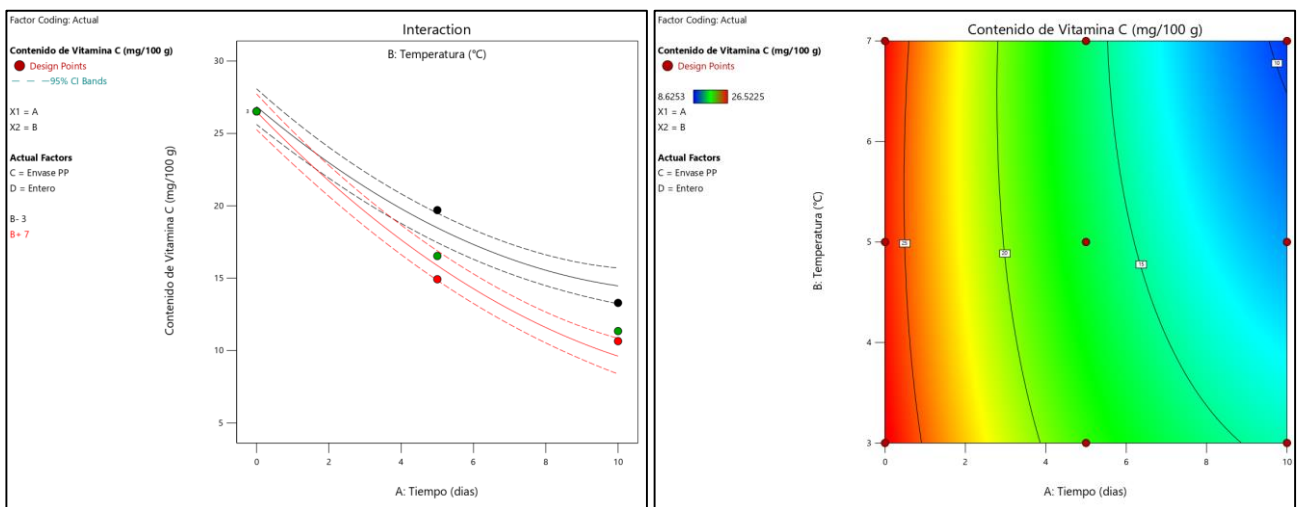


Figura 7. Gráfico de Interacción y de contorno de los factores tiempo y temperatura sobre el contenido de vitamina C (Envase PP-gajos)

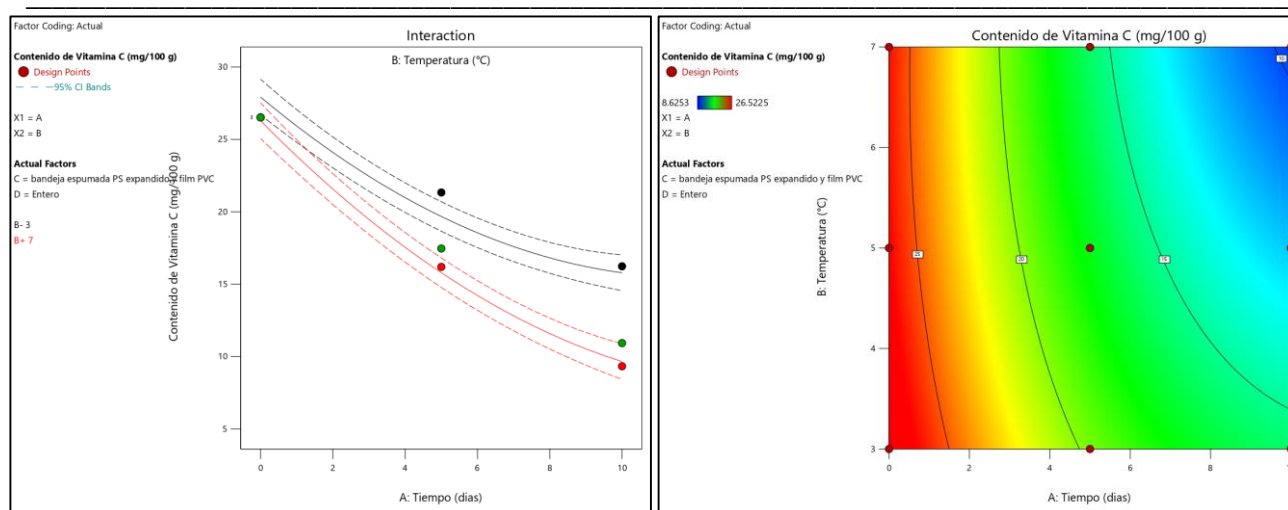


Figura 8. Gráfico de Interacción y de contorno de los factores tiempo y temperatura sobre el contenido de vitamina C (Bandeja espumada PS expandido y films PVC-gajos)

## DISCUSIÓN

Según el ANOVA en la Tabla 5, las variables independientes que tienen un efecto significativo en la degradación de la vitamina C son la temperatura y el tiempo ya que presentan valores  $P < 0.05$ , siendo corroborado por Lee & Kader (2000) indicando que la síntesis de vitamina C en las plantas es influenciada por factores exógenos, como la luz y la temperatura. Además, Adisa (1986) mencionan que elevadas temperaturas y periodos prolongados de almacenamiento disminuyen los niveles de vitamina C. Pero en investigaciones con mandarinas almacenadas por 75 días a 3,5 °C no hubo variaciones en el contenido de vitamina C (Ladaniya, 2011). Las variables independientes tipo de envase, si tienen efectos significativos en la degradación de la vitamina C ya que presentan valores  $P < 0.05$ , a diferencia de la mandarina sin envase, ya que esta se encontró en interacción directa con el oxígeno generando oxidación y radicales libres (Venereo G., 2002). Además, Koaceli (2014) en su evaluación del efecto de materiales de embalaje y temperatura de almacenamiento en la conservación de vitamina C, indica que para cualquier tipo de envase las mejores temperaturas para preservar están entre los 3 y 6 °C. También, Steaven (1988) los factores que influyen en la degradación son la temperatura, concentración de sal y azúcar, pH, oxígeno, enzimas y metales. El contenido de vitamina C se ve afectado por el procesamiento y tiempo de almacenamiento (Ordoñez & Yoshioka, 2012). La variable independiente de tipo de presentación, no tiene efectos significativos, esto debido a que en el ANOVA presento valores de  $P > 0.05$ . Según Potter & Hotchkiss (1999), el daño físico de un alimento producto de la ruptura de tejidos (daño físico) genera deterioro en la fruta y exposición al oxígeno permitiendo la degradación de la vitamina C; para las presentaciones mencionada en la investigación (entero y gajos) se trató de evitar la ruptura de los gajos o sacos de zumo (septas), pero el fraccionamiento genera daños físicos.

En los gráficos N° 03, 04, 05, 06, 07 y 08, podemos observar que el contenido de vitamina C en la mandarina mínimamente procesada, presenta una tendencia en general a disminuir a lo largo de todo el periodo de almacenamiento. A 3°C en la Bandeja espumada PS expandido y film PVC, con presentación entera varió en 28.6% de 26.5555 mg/100g a 16.237 mg/100g; y en presentación gajos varió en un 39.90% de 26.5555 mg/100g a 15.9614 mg/100g. A 3°C en envase de polipropileno, con presentación entera varió en 49.93% de 26.5555 mg/100g a 13.297 mg/100g; y en presentación gajos varió en un 48.79% de 26.5555 mg/100g a 13.6534 mg/100g. A 3°C sin envase, con presentación entera varió en 52.84% de 26.5555 mg/100g a 12.5241 mg/100g; y en presentación gajos varió en un 53.5% de 26.5555 mg/100g a 12.3489 mg/100g. La disminución de la vitamina C luego de la exposición a las temperaturas en distintos alimentos ha sido determinado en investigaciones por Fernández & Dos Santos (2011). Además, la permeabilidad al O<sub>2</sub> en los envases ayuda a retardar la degradación de la vitamina C al reducir el contacto con el oxígeno (Steaven, 1988). Para el caso de la investigación a temperaturas de 3°C existe diferencias significativas entre el tipo de envase y el contenido de vitamina C, ya que, según Esparza (2008) la permeabilidad del envase de polipropileno es 1300-12000 ml/m<sup>2</sup>xdía 25°C mientras que para el film PVC es 800 – 5000 ml/m<sup>2</sup>xdía 25°C, teniendo el envase de bandeja de espuma y film PVC mayor impermeabilidad al oxígeno.

Pero también, algunas investigaciones determinaron que el modelo cinético de degradación en función de la temperatura era de primer orden para el zumo de fresa (Cao X, 2012) y en el zumo de naranja (Torres B, 2011) a distintas condiciones de temperaturas de almacenamiento.

## CONCLUSIONES

Las variables independientes de temperatura, tipo de envase y tiempo tienen un efecto significativo en la degradación de la vitamina C en la mandarina mínimamente procesada. En tanto, la variable independiente de tipo de presentación no obtuvo niveles de significancia según el ANOVA.

El modelo cinético óptimo para el contenido de vitamina C en la mandarina mínimamente procesada según Software estadístico Design Expert 12.0 presenta la siguiente ecuación ajustada a variables cuantitativas:  $\text{Contenido de Vitamina C} = 32.036 - 1.747 * \text{Tiempo} - 1.7837 * \text{Temperatura} - 0.1125 * \text{Tiempo} * \text{Temperatura} + 0.0871 * \text{Tiempo}^2 + 0.1376 * \text{Temperatura}^2$ ; con un R<sup>2</sup>=0.9848. Correspondiendo al tratamiento: presentación entera y bandeja espumada PS expandido y film PVC. Esto se respalda con la información encontrada referente a la permeabilidad al O<sub>2</sub> como característica física de los envases, siendo el de mejor barrera al oxígeno el Film PVC. Además, aun obteniendo datos del ANOVA indicando valores de P>0.05 para la variable presentación siendo no significativo, en la parte experimental se observó diferencia y se logró encontrar referencias donde hacen referencia

a los daños físicos y su reacción en el deterioro y exposición al O<sub>2</sub> generando degradación de vitamina C, como en el caso de la mandarina mínimamente procesada.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adisa, V. (1986). The influence of molds and some storage factors on the ascorbic acid content of orange and pineapple fruits. *Food Chemistry*, 22(2): 139 – 146.
- Anderson, C. (1996). Variedades cultivadas en el Río Uruguay. *Manual para productores de mandarina de la región del Río Uruguay*. INTA, 63-91.
- Calabrese G., M. L. (2013). Effects of vitamin C on health: A review of evidence. *Biosci-Landmark*.
- Cao X, B. X. (2012). Changes of quality of high hydrostatic pressure processed cloudy and clear strawberry juices during storage. *Innov Food Sci Emerg*, 16:181-190.
- Ciancaglini, P., Santos, H., Daghashtanli, K., & Thedei Jr, G. (2001). Using a classical method of vitamin C quantification as a tool for discussion of its role in the body. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 29 (3)110-114.
- Dhuique-Mayer C, T. M.-V. (2007). Thermal degradation of antioxidant micronutrients in citrus juice: kinetics and newly formed compounds. *J Agric Food Chem*, 55(10), 4209-4216.
- Esparza, A. (2008). *Sistemas de alta barrera en empaques flexibles*. [Tesis]. Saltillo, Mexico: Centro de Investigacion en quimica aplicada.
- Fernández, A., & Dos Santos, M. (2011). Chemical and physicochemical characteristics changes during passion fruit juice processing. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 31, 747-751.
- Koaceli, G. (2014). *Effect of packaging materials and storage temperature on the quality of sour cherry nectar*. [Tesis Pregrado]. Turkey: Ankara University.
- Ladaniya, M. (2011). Physico-chemical, respiratory and fungicide residue changes in wax coated mandarin fruit stored at chilling temperature with intermittent warming. *Journal of Food Science and Technology*, 48: 150 – 158.
- Lee, K. E. (2016). Physicochemical properties and sensory evaluation of mandarin (Citrus unshiu) beverage powder spray-dried at different inlet air temperatures with different amounts of a mixture of maltodextrin and cornsyrup. *Food Science and Biotechnology*, 25(5), 1345-1351.
- Lee, S., & Kader, A. (2000). Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest Biology and Technology*, 20(3): 207 – 220.
- Mendoza, M. (2017). Degradación de la vitamina C en un producto de mango (*Mangifera indica* L.) y lactosuero. *Corpoica Cienc Tecnol Agropecuria*, Vol. 18 (1).
- Ordoñez, L. (2013). Cinética de degradación térmica de vitamina C en frutos de guayaba (*Psidium guajava* L.). *Revista Lasallista de Investigación*, vol. 10 (2).
- Ordoñez, L., & Yoshioka, L. (2012). Cinética de degradación térmica de vitamina C en pulpa de mango (*Mangifera indica* L.). *Vitae*, 19: 81-83.
- Pahua, R. M. (2010). Obtencion de un polvo para preparar gelatina.

- Potter, N., & Hotchkiss, J. (1999). *La ciencia de los alimentos*. Zaragoza-España: Editorial Acribia S.A.:
- Promperu. (15 de enero de 2020). *Sistema Integrado de Información de Comercio Exterior (SIICEX)*. Obtenido de <http://www.siicex.gob.pe/siicex/resources/fichaproducto/611423054radEOD20.pdf>
- Steaven, R. (1988). *Vitamins and minerals, in Principles of Food Science, Part I*. New York: Fenemma O.R. Marcel Dekker, pp. 365-371.
- Stinco, C. e. (2015). Hydrophilic antioxidant compounds in orange juice from different fruit cultivars: Composition and antioxidant activity evaluated by chemical and cellular based (*Saccharomyces cerevisiae*) assays. *Journal of Food Composition and Analysis*, 37, 1-10.
- Torres B, T. B. (2011). Stability of anthocyanins and ascorbic acid of high pressure processed blood orange juice during storage. *Innov Food Sci Emerg*, 12(2): 93-97.
- Venereo G., J. (2002). Daños oxidativos, radicales libres y antioxidantes. *Rev Cubana Med Milit*, 31(2):126-33.
- Walter, P. (1994). Vitamin requirements and vitamin enrichment of foods. *Food Chem*.