

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE FRONTERA**

**FACULTAD DE INGENIERIA DE INDUSTRIAS**

**ALIMENTARIAS Y BIOTECNOLOGÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA DE**

**INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**



**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

**TÍTULO: “Parámetros óptimos de concentración  
de zumo delimón (*Citrus limon*) para conservar la  
vitamina C”**

**Autor:**

**Br. Karoll Jean Pier Atoche Farfán**

**Asesor:**

**MSc. William Lorenzo Aldana Juárez**

**CO - Asesor:**

**Mg. Harold Pawel Johao Ore Quiroz**

**Registro: PY-EPIIA-057**

**SULLANA – PERU**

**2022**

## **Dedicatoria**

Esta investigación está dedicada principalmente a Dios, por la fuerza e inspiración para seguir en este proceso y lograr mis sueños. Siempre me ilumino.

A mis padres, por el sacrificio y amor brindado durante este tiempo, me enorgullece mucho ser su hijo y ahora vale decir logre lo que les prometí. Y vamos por más.

A mi asesor y co-asesor por la confianza brindada, el tiempo dedicado a mi persona para lograr la meta, atendiendo mis dudas.

A mis familiares por acompañarme en este largo camino y por el apoyo incondicional que recibí en vida. Siempre agradecido con ustedes.

A todas mis amistades por apoyarme en la realización de la investigación, con su tiempo y consejos para continuar con mis planes.

## **Agradecimiento**

Primero agradecer a mi tutor William Lorenzo Aldana Juárez, quien, con su conocimiento y apoyo, logró encaminar el desarrollo del proyecto y obtener resultados buscados. Dando solución a todas mis dudas.

Segundo a mi co-asesor el Mg. Harold Pawel Johao Ore Quiroz, por su apoyo en base al conocimiento en mi tema de tesis, siendo una pieza fundamental en el cumplimiento de las metas.

Tercero a la Universidad Nacional de Frontera por brindar todo el recurso y herramientas que se necesitaron para la investigación. Por las facilidades para el uso de los laboratorios y biblioteca.

Cuarto agradecer a mi familia y compañeros, por apoyarme en momentos difíciles. Quiero agradecer a mis padres, que me dieron palabras de apoyo para renovar energías en momentos difíciles.

Pier Atoche.

### Visto Bueno del Asesor de la Tesis.

	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE FRONTERA</b> Escuela Profesional de .....			
	<b>ANEXO 1 - B</b> <b>Carta de Conformidad del Asesor</b>			
	Factor 7: Código Estándar 22-23-24 Acreditación-SINEACE <sup>11</sup>	Criterios 1,3,4,10 de Acreditación-ICACT <sup>12</sup>	Versión: 001	Aprobado: Resolución N° 168/2021-UNF/CO

Señor(a)

**Dr. Luis Espinoza Espinoza**

Decano de la Escuela Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias

Universidad Nacional de Frontera

El suscrito, en mi condición de asesor del señor **Br. Karoll Jean Pier Atoche Farfán** de la Escuela Profesional de **Ingeniería de Industrias Alimentarias** informo que la tesis, titulado **Parámetros óptimos de concentración de zumo de limón (*Citrus limón*) para conservar la vitamina C** se encuentra conforme a lo indicado en el Reglamento de Grados y Títulos.

Sullana, 25 de enero del 2021



Firma del Asesor

MSc. William Lorenzo Aldana Juárez

DNI: 16738873

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE FRONTERA			
	Escuela Profesional de .....			
	<b>ANEXO 1 - B</b> <b>Carta de Conformidad del Asesor</b>			
Factor 7: Código Estándar 22-23-24 Acreditación-SINEACE <sup>11</sup>	Criterios 1.3.4.10 de Acreditación-ICACTI <sup>12</sup>	Versión: 001	Aprobado: Resolución N° 168/2021-UNF/CO	Fecha: 25/05/2021

Señor(a)

**Dr. Luis Espinoza Espinoza**

Decano de la Escuela Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias

Universidad Nacional de Frontera

El suscrito, en mi condición de co-asesor del señor **Br. Karoll Jean Pier Atoche Farfán** de la Escuela Profesional de **Ingeniería de Industrias Alimentarias** informo que la tesis, titulado **Parámetros óptimos de concentración de zumo de limón (*Citrus limón*) para conservar la vitamina C** se encuentra conforme a lo indicado en el Reglamento de Grados y Títulos.

Sullana, 25 de enero del 2021



Firma del Co-asesor

Mg. Harold Pawel Johao Ore Quiroz

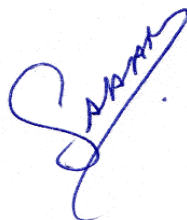
DNI: 42998453

**Jurado Evaluador**



---

**Mg. Milagros del Pilar Espinoza Delgado**  
**Presidente**



---

**MBA. Carlos Augusto Salazar Sandoval**  
**Secretario**



---

**MSc. William Lorenzo Aldana Juárez**  
**Vocal**



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE FRONTERA

## ANEXO 3-K

### Acta de Evaluación de Sustentación del Informe de Tesis

Siendo las 16:00 horas del día 16 del mes de febrero del año 2022 se reunieron en la sala virtual: <https://meet.google.com/rtg-sudj-yjf>; de la Universidad Nacional de Frontera, los miembros del Jurado de Tesis para evaluar el Informe de Tesis, denominado: **"PARÁMETROS ÓPTIMOS DE CONCENTRACIÓN DE ZUMO DE LIMON (Citrus limon) PARA CONSERVAR LA VITAMINA C"**, siendo sustentado en sesión pública por el autor: Bach. KAROLL JEAN PIER ATOCHE FARFÁN y como requisito para obtener el Título Profesional de Ingeniero de Industrias Alimentarias.

Terminada la sustentación, se procedió a la defensa del Informe de Tesis, etapa en que los miembros del Jurado de Tesis formularon sus inquietudes y preguntas de manera individual, las que fueron respondidas por el sustentante.


Seguidamente, el Jurado solicitó el retiro de todos los asistentes y del (los) sustentante(s) de la sala virtual o física según sea el caso; el Jurado de Tesis determinó la calificación concedida a la sustentación del Informe de Tesis para la Obtención de Título Profesional, en términos de:

**Aprobado (a)** con el calificativo de **DIECISIETE (17)**, levantándose la sesión a las 17:00 horas del mismo día. Se concluye el acto de sustentación, suscribiendo el acta.



**Secretario**

MBA. Carlos Augusto Salazar Sandoval



**Presidenta**

MSc. Milagros Del Pilar Espinoza Delgado



**Vocal**

MSc. William Lorenzo Aldana Juárez

No.	DESCRIPCIÓN	RECOMENDAR	
		SI	NO
1.	Recomendar para presentar en eventos.		
2.	Recomendar para publicación.		
3.	Recomendar para patente		
4.	Recomendar para Meritorio		
5.	Recomendar para Laureado		

Código:

## Índice

Resumen .....	xi
Abstract.....	xii
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. MATERIAL Y MÉTODOS .....	10
2.1. Población, muestra y muestreo. ....	10
2.2. Variables de estudio .....	10
2.3. Métodos.....	11
III. RESULTADOS .....	17
3.1. Características fisicoquímicas del limón sutil ( <i>Citrus aurantifolia</i> ).....	17
3.2. Efecto de los parámetros de operación durante el proceso de concentrado del zumo de limón ( <i>Citrus aurantifolia</i> ) en un evaporador rotatorio en el contenido de vitamina C.....	17
3.3. Efecto de la temperatura en el concentrado del zumo de limón ( <i>Citrus aurantifolia</i> ) en un evaporador rotatorio en el contenido de vitamina C.....	22
3.4. Efecto de la presión de vacío en el concentrado del zumo de limón ( <i>Citrus aurantifolia</i> ) en un evaporador rotatorio en el contenido de vitamina C.....	23
3.5. Efecto de la velocidad de rotación en el concentrado del zumo de limón ( <i>Citrus aurantifolia</i> ) en un evaporador rotatorio en el contenido de vitamina C.....	24
3.6. Parámetros óptimos de temperatura y presión de vacío de concentración de zumo de limón ( <i>Citrus aurantifolia</i> ) en un evaporador rotatorio para la conservación de la vitamina C.....	25
IV. DISCUSIÓN.....	32
V. CONCLUSIONES .....	37
VI. RECOMENDACIONES .....	38
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	39
ANEXOS.....	47



## Índice de Tablas

Tabla 1. Composición química del limón sutil ( <i>Citrus aurantifolia</i> ) 100 g parte comestible.....	7
Tabla 2. Definiciones de variables y niveles del Diseño Factorial .....	16
Tabla 3. Variable respuesta del Diseño Factorial .....	16
Tabla 4. Características fisicoquímicas del limón sutil ( <i>Citrus aurantifolia</i> ).....	17
Tabla 5. Resultados de la Conservación de la vitamina C del zumo de limón concentrado.....	18
Tabla 6. Prueba de normalidad .....	18
Tabla 7. Prueba de Igualdad de Levene de varianza de la variable dependiente: Vitamina C .....	19
Tabla 8. Prueba de efecto de temperatura, velocidad de rotación y presión de vacío en vitamina C .....	20
Tabla 9. Estadística de ajustes del modelo .....	21
Tabla 10. Prueba de efecto de temperatura de concentración en la vitamina C .....	22
Tabla 11. Prueba de efecto de la Presión de vacío durante la concentración en la vitamina C .....	23
Tabla 12. Prueba de efecto de la velocidad de rotación durante la concentración en la vitamina C .....	24
Tabla 13. Coeficientes en término de Factores y el error estándar del modelo.....	25
Tabla 14. Reporte de los resultados en condiciones optimas .....	30
Tabla 15. Tabla de coeficientes óptimos de la cinética de degradación de vitamina C .	31
Tabla 16. Datos para elaborar la curva de la vitamina C.....	48

## Índice de Figuras

Figura 1. Diagrama para el concentrado de zumo de limón .....	13
Figura 2. Evaporador rotativo (Rotavapor) .....	14
Figura 3. Grafica de probabilidad Normal y de los puntos de los residuos de la conservación de la Vitamina C. ....	19
Figura 4. Grafico de interaccion de factores temperatura y la presión de vacío en la vitamina C .....	26
Figura 5. Grafico de interaccion de factores de velocidad de rotacion y presión de vacío en la vitamina C .....	27
Figura 6. Grafico de interacción de factores temperatura y la velocidad de rotacion en la vitamina C .....	28
Figura 7. Grafico de superficie respuesta (cubo) de factores temperatura, la presión de vacío y velocidad de rotación en la vitamina C .....	29
Figura 8. Solución con parámetros óptimos de factores .....	30
Figura 10. Curva patrón de la vitamina C.....	48

## Resumen

La investigación tuvo el propósito de evaluar el efecto y determinar los parámetros óptimos de operación en la concentración de zumo de limón sutil (*Citrus aurantifolia*) en un evaporador rotativo para conservar la vitamina C. Se evaluó el contenido de vitamina C, por un período de 4 horas; utilizando un Diseño Factorial 3x3x3: con 3 temperaturas (30, 40 y 50 °C), 03 presiones de vacío (100, 200 y 300 mbar) y 03 velocidades de rotación (20 rpm, 60 rpm y 100 rpm); y la técnica del Método de Superficie Respuesta aleatorizado para conseguir el modelo cinético de contenido. Como resultado: según el ANOVA aplicado, las variables independientes significativas fueron temperatura, presión de vacío y la interacción de presión de vacío y temperatura con valores P inferiores a 0.05, el parámetro de velocidad de rotación no influye de forma significativa en el contenido de vitamina C ni las otras interacciones. Los parámetros óptimos para la conservación de la vitamina C fueron a 30°C, 300 mbar y 100 rpm, según Software Design Expert el modelo cinético óptimo: Contenido de vitamina C = 18.5467 + 6.3\*presión de vacío - 3.39667\*temperatura - 0.903333\*velocidad de rotación; nivel de confianza del 95% y p-valor<0.01.

**Palabras claves:** Vitamina C, temperatura, presión de vacío, velocidad de rotación, modelamiento.

### **Abstract**

The purpose of the research was to evaluate the effect and determine the optimum operating parameters in the concentration of subtle lemon juice (*Citrus aurantifolia*) in a rotary evaporator to preserve vitamin C. The content of vitamin C was evaluated for a period of 4 hours; using a 3x3x3 Factorial Design: with 3 temperatures (30, 40 and 50 °C), 03 vacuum pressures (100, 200 and 300 mbar) and 03 rotation speeds (20 rpm, 60 rpm and 100 rpm); and the Randomized Response Surface Method technique to achieve the content kinetic model. As a result: according to the applied ANOVA, the significant independent variables were temperature, vacuum pressure and the interaction of vacuum pressure and temperature with P values less than 0.05, the rotation speed parameter does not significantly influence the vitamin content C nor the other interactions. The optimal parameters for the conservation of vitamin C were at 30°C, 300 mbar and 100 rpm, according to Software Design Expert the optimal kinetic model: Vitamin C content =  $18.5467 + 6.3 \cdot \text{vacuum pressure} - 3.39667 \cdot \text{temperature} - 0.903333 \cdot \text{Rotation speed}$ ; confidence level of 95% and p-value <0.01.

**Keywords:** Vitamin C, temperature, vacuum pressure, rotation speed, modeling.

## I. INTRODUCCIÓN

Dentro de los agentes reductores y antioxidantes imprescindibles encontramos a la Vitamina C, que es necesaria para crear y sostener correctamente del material extracelular; reduce la actividad negativa desarrollada por los distintos radicales libres y contribuye en asimilar el hierro no hemínico (Calabrese G., 2013). Sus escasas en las personas, genera sangrado, dificultades por anemia, reducida cicatrización de heridas, previene el escorbuto (Walter, 1994). En términos generales, los escasos de la vitamina C y ciertos micronutrientes son asociados a una mal nutrición generalmente, se presenta en alcohólicos, indígenas, ancianos (Gan, Eintracht, & Hoffer, 2008). Se evidenció que la población de diabéticos está en riesgo por faltas de vitamina C, ya que la mayoría presentan niveles plasmáticos de Ácido ascórbico menores de 20  $\mu\text{M}$ , generando un incremento de un problema asociado a mala cicatrización en estas personas (Christie-David & Gunton, 2017). La vitamina C mejora el incremento de tejidos conectivos, la biotransformación y absorción de vitaminas y lípidos. Es un compuesto importante para el proceso de biosíntesis de compuestos que reducen la oxidación de los fosfolípidos de las membranas y presenta una participación en el proceso para eliminar radicales libres (Calabrese G., 2013).

A nivel mundial, en la última década se evidenció que el 20% de las personas en el mundo consumen cantidades de vitamina C por debajo de lo requerido, muy marcados en el sur asiático y con poca importancia en países de primer mundo con mayor ingreso (Beal, Massiot, Arsenault, Smith, & Hijmans, 2017). En economías desarrolladas, como Canadá, el déficit de ácido ascórbico en las personas en promedio es de 12%, y en personas maduras es 15%, también en Francia los hombres y mujeres presentan un déficit del 12% y 6% respectivamente (Gan, Eintracht, & Hoffer, 2008; Mosdol, Erens, & Brunner, 2008). Para Estados Unidos, el déficit de vitamina C se encuentra en el 7% del total de la población, muy presente en hombres entre 20 y 39 años y por encima de 60 años, y en hombres caucásicos no-hispanos (Schleicher, Carroll, Ford, & Lacher, 2009). La población tailandés mostro mediante una investigación que presenta déficit de ácido ascórbico en niños de 6 meses a 9 años de edad que recibieron alimentos como leche UHT en su proceso de hospitalización, debido a que el calor inactiva la vitamina C (Ratanachu, Sukswai, Jeerathanyasakun, & Wongtapradit, 2003).

A nivel de Latinoamérica, aunque el déficit de vitamina C no se considera una problemática de salud pública; el inconveniente de una ingesta no adecuada supera el 37% en la población. La falta excesiva de vitamina C genera el desarrollo de escorbuto,

aunque la deficiencia marginal ha sido relacionada con estrés oxidativo, incremento del deterioro de la función cognitiva, mayor cantidad de infecciones, cáncer y cierta enfermedad ocular (Granger & Eck, 2018).

A nivel nacional, la ingesta promedio de vitamina C en hombres es 75 mg/día y en mujeres es 60 mg/día; pero para el 2006, la población de Perú mostro que un 75% tuvo ingestas menores a 18 mg/día, y que el 90% mostró datos menores a 60 mg/día. La ingesta promedio para la región sierra rural fue 27.72 mg/día y una parte de la costa fue 18.98 mg/día (INS, 2021).

La Vitamina C que es conocido como ácido L-ascórbico, pertenece al grupo de moléculas orgánicas tipo ceto-lactona de 6C, vinculada a hexosas (Hediger, 2002; Levine, 1986). El contenido se reduce significativamente en procesos de frutas y hortalizas, por exposición a temperaturas, a la luz, al oxígeno, a variaciones de depresión, a pH diversos, entre otros (García, y otros, 2006).

Los limones también llamados limas ácidas, limas gallegas, limones ceutís, limones mexicanos, limones peruanos, limones criollos o limones de picas, tienen como nombre científico *Citrus Aurantifolia Swingle*; teniendo como composición 3 partes, el flavedo, albedo y endocarpio (Grunauer, 2009).

El zumo de limón tiene como contenido el ácido cítrico entre 5-10 %, pectina, flavonoides, minerales como la vitamina (A, B y C), el calcio y el potasio. Además, el zumo contiene reducidas cantidades de ácidos como: fórmico, málico, cafeico y acético (Apesteagua I. , 2009).

Según lo expuesto se formuló el problema general: ¿Cuáles son los parámetros óptimos de operación para la concentración de zumo de limón (*Citrus limón*) en un evaporador rotativo para conservar la vitamina C?

La investigación tuvo una justificación teórica basada en determinación de los factores que influyen en el contenido de vitamina C durante la operación de concentración del zumo de limón como temperatura, velocidad de rotación, presión de vacío (Villagrá, Muñoz, Troncoso, Morales, & Mardones, 2019).

La investigación tuvo una justificación metodológica basada plantear un sistema donde se concentró zumo de limón controlando y variando las temperaturas, velocidad de rotación y presión de vacío en la operación revisando los efectos en la vitamina C; la investigación se sostuvo en el diseño experimental de tipo pre experimental y se aplicó un análisis en relación al parámetro de vitamina.

La investigación tuvo una justificación práctica debido a que se plantea la implementación de un sistema de evaporación para concentrar zumo de limón. Esto enfocado en la conservación de la vitamina C, la cual, presenta cambios debido a factores externos como temperatura, presión de vacío y velocidad de rotación. Para esto instalo el equipo evaporador y se controló las variables indicadas anteriormente.

En tanto, el objetivo general de la investigación fue evaluar el efecto y determinar los parámetros óptimos de operación en la concentración de zumo de limón sutil (*Citrus aurantifolia*) en un evaporador rotativo para conservar la vitamina C. Además con objetivos específicos: a) determinar de las características fisicoquímicas del limón sutil (*Citrus aurantifolia*); b) determinar el efecto de los parámetros de operación durante el proceso de concentrado del zumo de limón sutil (*Citrus aurantifolia*) en un evaporador rotatorio en el contenido vitamina C; c) evaluar el efecto de la temperatura de concentrado del zumo de limón sutil (*Citrus aurantifolia*) en un evaporador rotatorio en el contenido de vitamina C; d) evaluar el efecto de la presión de vacío en el concentrado del zumo de limón sutil (*Citrus aurantifolia*) en un evaporador rotatorio en el contenido de vitamina C; e) Evaluar el efecto de la velocidad de rotación en el concentrado del zumo de limón sutil (*Citrus aurantifolia*) en un evaporador rotatorio en el contenido de vitamina C; y f) determinar de los parámetros óptimos de temperatura, presión de vacío y velocidad de rotación en la concentración de zumo de limón sutil (*Citrus aurantifolia*) en un evaporador rotatorio para la conservación de la vitamina C.

Siendo en tanto, las hipótesis de la investigación: H0: Los parámetros de temperatura, la presión de vacío y velocidad de rotación en la concentración de zumo de limón sutil (*Citrus aurantifolia*) influyen en el contenido de la vitamina C; y H1: Los parámetros de temperatura, la presión de vacío y velocidad de rotación en la concentración de zumo de limón sutil (*Citrus aurantifolia*) influyen en el contenido de la vitamina C.

Esta investigación se desarrolló en un marco teórico que fundamentó la importancia del ácido ascórbico y las diversas causas que influyen en él. La vitamina C es un antioxidante muy conocido e ingerirlo genera un gran número de beneficios, siendo algunos poco respaldados científicamente (Villagrá, Muñoz, Troncoso, Morales, & Mardones, 2019). La vitamina C la encontramos en dos formas biológicas importantes, una como ácido ascórbico (reducida) y otra como ácido dehidroascórbico (oxidada). Como antioxidantes podemos entender que son aquellos compuestos que tienen capacidades de la donación de electrones a los radicales libres que se encuentran

inestables con la finalidad de evitar la oxidación de algunos compuestos; y cuando los antioxidantes donan sus electrones, se convierten en radicales libres, pero no son reactivos, es decir, el ácido ascórbico luego que dona electrones, se transforma en un radical ascorbilo, muy estable y no reactivo (Castillo, 2019).

El tratamiento térmico destruye o inactiva microorganismos que afectan la condición de salud de la persona que consume en producto; no obstante, la exposición de alimento a temperaturas puede generar ciertas alteraciones en los compuestos benéficos que lo componen afectando su nivel nutricional y características visibles como el color al pasar por distintas etapas de proceso (Cuastumal, Valencia, & Ordóñez, 2016). Como indicador de los parámetros de calidad en los alimentos podemos encontrar a la vitamina C, ya que debido a la sensibilidad a varios factores se degrada en el tiempo y mayormente en el procesamiento y almacenamiento (Verbeyst, Bogaerts, Van-der-Plancken, Hendrickx, & Van-Loey, 2012), siendo los principales factores que intervienen en el proceso de degradación durante su procesamiento la luz, los iones metálicos, el oxígeno, la temperatura y la variación de pH (Bineesh, Singhal, & Pandit, 2005; Vilaplana, 2007)

El enfoque de investigación fue cuantitativo y se justificó en el paradigma positivista el cual se sustenta por los siguientes autores: Para Flores (2004), los paradigmas comprenden ideas de lo real, la visión del mundo, la ubicación de la persona en el mundo y lo que la persona acepta como existente. Además, Patton (1990) indica que los paradigmas denotan y dirigen a sus simpatizantes en función a lo razonable, válido y legítimo. Así mismo, Ricoy (2006) indicó que el paradigma positivista puede clasificarse como sistemático gerencial, cuantitativo, racionalista, científico tecnológico y empírico-analítico.

En la investigación se utilizó el método hipotético deductivo, el cual radica en la formulación de hipótesis teniendo en consideración dos premisas, una universal y otra empírica, para realizar una comparación empírica (Popper, 2008). Tiene como propósito comprender los fenómenos y explicar el principio o los motivos que lo producen (Rodríguez & Pérez, 2017). Esto debido a que se busca evaluar la influencia y los parámetros óptimos de concentración para conservar la vitamina C.

En el ámbito internacional, se desarrollaron distintas investigaciones entre las cuales tenemos a Segovia & Mongelat (2018) en su investigación titulada “*Evaluación del efecto de diferentes métodos de concentración sobre los compuestos bioactivos de jugo de arándanos*” evaluó los efectos de tres métodos de concentración, microondas bajo vacío (MOV), microondas convencional (MO) y evaporador rotatorio (RV), sobre la



retención de compuestos bioactivos como fenoles totales (FT) y antocianinas totales (AT) en zumo concentrado. Tuvo como resultado que la mayor retención de AT y FT la generó el método de concentración evaporador rotatorio. Además, Elik, Koçak, Maskan, & Göğüş (2016) en su investigación "*Influence of three different concentration techniques on evaporation rate, color and phenolics content of blueberry juice*" determinó que la pérdida total de fenoles durante la concentración fue mayor en la técnica de recipiente abierto (36,54%) y menor en el calentamiento por microondas a 200 W (34,20%).

Según Yousefi, Emam-Djomeh, Mohammad, & Gholam (2012) en su investigación "*Comparing the Effects of Microwave and Conventional Heating Methods on the Evaporation Rate and Quality Attributes of Pomegranate (Punica granatum L.) Juice Concentrate*", se investigaron los cambios de color, contenido de antocianinas y capacidad antioxidante durante los procesos de concentración. Los resultados mostraron que la degradación del color, las antocianinas y la actividad antioxidante eran más importantes en el calentamiento convencional en comparación con el método de calentamiento por microondas; y las tasas de degradación de la capacidad antioxidante aumentan al aumentar la presión del proceso ya que al variar la presión del proceso de 12 a 100 kPa aumentó la tasa de degradación en un 41% en el método de evaporación rotatoria y 60% en calentamiento por microondas.

En el ámbito nacional, se desarrollaron investigaciones como indica Avalo, Pérez, & Tovar (2009) en su investigación "*Caracterización preliminar del proceso de Concentración del jugo natural de naranja en un evaporador de tres efectos*", realizada bajo condiciones del proceso de concentración donde el efecto 1 tuvo como parámetros la temperatura de 102°C y una presión de 19,6KPa, para el efecto 2 se tuvo una 77°C y presión de 52,3KPa, y para el efecto 3 se usó 61°C y 60KPa. Como resultado se observó que el contenido de vitamina C durante la concentración, inicio con 50,05mg/100ml y el mínimo alcanzado fue de 1,09mg a.a/100ml muestra. Esta reducción del contenido de vitamina C indica la importancia de la presión de vacío en el proceso para el impacto de tratamiento térmico en la calidad del jugo.

Según Romero (2020) en su investigación "*Liofilización de zumo de naranja de la variedad Valencia y Tangelo y su influencia en la degradación de la vitamina C*" evaluó como el proceso de liofilización influye en la conservación de la vitamina C, planteando como variables las variedades de naranjas (Valencia y Tangelo), el espesor de las muestras (0,50 y 1,50cm) y la presión de liofilización (0,002 y 1,65 mbar); además se analizó el tiempo de vida en anaquel a 25°C por un periodo de 15 y 30 días. Concluyendo

que el mejor tratamiento en reducción de vitamina C fue para la variedad tangelo, espesor de 0.5 cm y Presión de vacío de 0.002 mbar con una pérdida de 6.42%.

Según Pinillos y Polo (2014) en su investigación “*Identificación de la temperatura óptima de secado y cuantificación del porcentaje de vitamina C en el zumo de limón secado por atomización*” concluyeron que el contenido de vitamina C para el secado por atomización se vio disminuido por el incremento de temperatura en el proceso.

Según Ortiz (2018) en su investigación “*Caracterización fisicoquímica del zumo de limón conservado mediante congelación rápida por aire forzado y un análisis comparativo con el zumo de limón fresco*” concluyó que los componentes nutricionales del zumo de limón sutil congelado por medio de aire forzado se mantienen, y que la humedad varía en 0.6% y las cenizas variaron en 0.32%. Además, el tiempo de conservación fue mayor al de condición en fresco, sufriendo una reducción del 20.25% en vitamina C durante los 90 días.

Según Mendoza, Hernández, & Ruiz (2015) en su investigación “*Efecto del Escaldado sobre el Color y Cinética de Degradación Térmica de la Vitamina C de la Pulpa de Mango de Hilacha (Mangífera indica var magdalena river)*” se determinó que la vitamina C presentó un modelo cinético de primer orden para la degradación; incrementando la constante de velocidad  $K_1$  al aumentar la temperatura del proceso. Se concluyó que al incrementar la temperatura de 65°C a 85°C, el tiempo de vida media fue 11.23 min y el tiempo de reducción decimal D fue 37.30 min. También Ordóñez-Santos & Yoshioka (2012) en su investigación “*Cinética de degradación térmica de vitamina C en pulpa de mango (Manguifera indica L)*” determinó que la velocidad constante de reacción aumentó al incrementar la temperatura de 60 a 80°C.

Según Padilla (2019) en su investigación “*la cinética de pardeamiento no enzimático del zumo de maracuyá (Passiflora edulis) durante la concentración mediante evaporador de doble efecto de película ascendente*”, evaluó como influye el caudal de alimentación y la presión de vacío en el pardeamiento no enzimático; el cual, fue medido por ácido ascórbico y azúcares reductores. El incremento del caudal de alimentación (10 a 30L/h) generó un aumento en la absorbancia y una reducción en la degradación de vitamina C y una reducción de azúcares reductores; el aumento de presiones de -0.25 a -0.75Bar evitó un pardeamiento más significativo. Concluyendo que la presión de vacío y caudal de alimentación influyen en el modelo cinético.

Siguiendo con las bases teóricas, iniciamos hablando del limón que es un cítrico. El género citrus es uno de los más importantes del grupo, está constituido por 20 especies

comestibles, es altamente sensible a climas fríos siendo necesario temperaturas de 10 a 24°C. Los limones tienen como nombre científico a *Citrus limón*; para el limón sutil su nombre científico es *Citrus aurantifolia swingle* (Pinillos & Polo, 2014). Como jugo de fruta se entiende que es líquido sin fermentar que se adquiere de la parte pulposa que se encuentra en proceso de conservación adecuado con una madurez óptima; además se tiene en cuenta a la fruta que paso por procesos de adecuación como frutas con tratamiento superficial conforme al codex Alimentarius (Codex-Alimentario, 2004). El zumo de limón tiene ácido cítrico en el intervalo de 5-10 %, pectina, flavonoides, minerales y vitaminas; encontrándose al ácido cítrico presente en éster etílico. Así mismo el zumo presenta reducidas cantidades de ácidos como el fórmico, acético, etc. (Apesteguía I. , 2009).

La composición química del limón se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 1

Composición química del limón sutil (*Citrus aurantifolia*) 100 g parte comestible.

Componentes	Unid.	Cantidad
Agua	Gramos	88.90
Proteínas	Gramos	0.70
Lípidos	Gramos	0.40
Carbohidratos	Gramos	9.0
Vitamina A	ug	2.3
Vitamina E	mg	0.5
Vitamina D	ug	0.0
Vitamina C	mg	50.0
Sodio	mg	3.0
Potasio	mg	149
Calcio	mg	12

Fuente: (Moreiras, Carbajal, Cabrera, & Cuadrado, 2013)

Como fuentes principales de las vitaminas de complejo B y vitamina A tenemos a los cítricos. Para el caso de la vitamina A, los cítricos en su composición tienen a los precursores como son el  $\alpha$ - y  $\beta$ -caroteno (Ladaniya, 2008).

Siguiendo con las bases teóricas, continuamos con la vitamina C es uno de los agentes antioxidantes fundamentales en formar y mantener adecuadamente el material

intercelular; reduce la actividad y presencia de los radicales libres y ayuda al proceso para asimilar el hierro no hemínico en el cuerpo (Grosso, y otros, 2013; Shaik-Dasthagirisaheb, y otros, 2013). La falta de vitamina C en el organismo de las personas, provoca hemorragias con una lenta cicatrización y anemia; ayuda a prevenir en escorbuto gracias a su alto poder vitamínico (Chawla & Kvarnberg, 2014; Waalter, 1994). Se encuentra presente en las frutas y vegetales; y al ser un compuesto polar se solubiliza en agua generando un poco acumulación en el organismo siendo necesaria su ingesta diaria. Es altamente sensible al procesamiento, al oxígeno, temperaturas media-altas y a la luz (Marsanasco, Márquez, Wagner, & Chiaramoni, 2011). Siendo así, la vitamina C una posible alternativa de solución, durante la ingesta diaria, para la adecuada funcionalidad del organismo; para esto sería necesaria la fortificación de alimentos con este compuesto (Abulude, Ogunkoya, & Oni, 2006).

La importancia biológica de la vitamina C, es definida por la necesidad de prevenir del escorbuto y mantener la piel saludable, la encía saludable y la estructura de los vasos sanguíneos intactos. Como funciones en el organismo tenemos: la reacción con oxígeno, eliminación de radicales libres, mejora del sistema inmune, inhibición de la formación de nitrosamina, disminución del contenido de colesterol en plasma, absorción de hierro inorgánico y producción de colágeno. Como parte del grupo de antioxidantes busca reducir los riesgos enfermedades cardiovasculares, de la arteriosclerosis, y algún tipo de cáncer (Rekha, y otros, 2012). La vitamina C actúa como antioxidante hidrosoluble, reduce la presencia de tocoferol oxidado en la membrana e inhibe la formación de nitrosamina en el proceso de digestión. Y mantiene en estado reducido a los metales cofactores (Murray, 2013).

La presencia de la vitamina C en los limones proporcionan 40-50 mg de ácido ascórbico/ 100 g de zumo de limón. La pulpa, contiene adicionalmente ácidos orgánicos, como ácido fórmico, acético, málico (sabor ácido) y cítrico; estos ácidos poseen efectos antisépticos y fortalecen la acción del ácido ascórbico. Adicionalmente, se tiene presencia de ciertos compuestos fenólicos que inhiben la actividad de moléculas cancerígenas como los ácidos ferúlico y cafeico (Garces, 2006).

Siguiendo con las bases teóricas, continuamos con la operación unitaria de Evaporación que ha demostrado importancia en las distintas industrias al disminuir costos de almacenamiento y transporte de compuestos en estado líquido sin modificar o cambiar sus propiedades fisicoquímicas. Esta operación unitaria es importante en relación a la ingeniería química (Ayala, Pabón, & Correa, 2018). Esta operación es empleada en

distintas industrias, destinado principalmente a la concentración de sustancias como: jugos de frutas, hidróxido de sodio, glicerina, cloruro de sodio diluido y solución acuosa de azúcar (Rojero, García, Serrano, Félix, & Ríos, 2008). El fundamento de la operación consiste en adicionar calor a un compuesto para separar el disolvente que generalmente es el agua, siendo el producto la solución concentrada (Geankoplis C. , 1998). Los evaporadores en su mayoría usan como agente calefactor el vapor de agua, condensándose en tubos metálicos.

Se hace imprescindible considerar definiciones, como la que indica que la operación unitaria de evaporación se centra en separar una mezcla líquida por ebullición, generando un vapor integrado por compuestos volátiles, y su utilización está implicada en la concentración de disoluciones obteniéndose el disolvente en estado gaseoso (Watts, Rodríguez, Payán, Bruin, & de-Stewart, 1999). La evaporación permite realizar la concentración de una mezcla conformada por una mezcla que tiene en principio un soluto volátil y un disolvente volátil (agua), este proceso está determinado por el equilibrio liquido-vapor (McCabe & Smith, 1991). Para Singh y Hieldman (2009), definen a la evaporación como una operación básica usada para eliminar agua de alimentos en estado líquidos y así generar un producto más concentrado, con mayor estabilidad microbiológica y con costos reducidos de almacenamiento y transporte. Así también, Rojero et al (2008), afirma que la evaporación es un proceso de separación muy utilizados en la industria, que consiste en la separación por vaporización parcial de un solvente de una mezcla, con el consecuente aumento en la concentración del soluto en la mezcla. Con lo cual, debido a que muchos productos alimenticios no pueden tolerar la evaporación a temperaturas elevadas que corresponden a la presión atmosférica, se obtienen menores temperaturas de evaporación operando a una presión por debajo de la atmosférica; entonces el vapor de agua producido se condensa por el agua líquida que se rocía dentro de la cámara del condensador. Una alta velocidad de evaporación requiere alta velocidad de transferencia de calor. Por lo cual, existe tres métodos: aumento del coeficiente de transferencia de calor global, aumento del área disponible para la transferencia de calor y aumento de la diferencia de temperatura entre el vapor y el líquido que es evaporado (Batty & Folkman, 1990). Además, Brennan, Butters, Cowell, & Lilley (1990), afirman que el aumento de las temperaturas de ebullición en la mezcla genera la viscosidad elevada que tiende a la reducción de la velocidad de circulación y la reducción del coeficiente de transmisión de calor. En tanto, cuando se incrementa la concentración de

la solución aumenta la viscosidad de la solución en proceso de evaporación, esperándose que mientras se da la evaporación desciende la velocidad de transmisión de calor.

## **II. MATERIAL Y MÉTODOS**

### **2.1. Población, muestra y muestreo.**

#### **2.1.1. Población**

Para Hernández-Sampieri (2014) "Una población es el conjunto de todos los casos que concuerdan con una serie de especificaciones". Se entiende como la totalidad del fenómeno en estudio, donde los individuos de la población tienen en común una característica de estudio y originan los datos para la investigación.

Se tomará como población el limón proveniente de la región de Piura – Perú. Se realizará una selección del limón antes de ser sometida al proceso de extracción de zumo, que luego pasará por la operación de evaporación para concentrado.

#### **2.1.2. Muestra**

Según Hernández-Sampieri (2014) es un subgrupo de individuos que son parte del conjunto definido en sus características conocido como población. La muestra puede ser probabilística o no probabilística.

La cantidad estará determinada por el tamaño del equipo y características del zumo de limón. Para esto debemos tener en cuenta las repeticiones y tratamiento a aplicar. Lo requerido para el proceso son 40 kg de limón.

### **2.2. Variables de estudio**

#### **2.2.1. Variables Independientes**

- Temperatura: 30, 40 y 50°C.
- Presión de vacío: 100, 200 y 300 mbar.
- Velocidad de rotación: 20, 60 y 100 rpm.

#### **2.2.2. Variables dependientes**

- Vitamina C: contenido mg/100 g de muestra.

## **2.3. Métodos**

### **2.3.1. Enfoque Cuantitativo**

Esta investigación se desarrolló en base a un enfoque cuantitativo, el cual, recolecta datos y prueba una hipótesis, utilizando mediciones numéricas y un análisis estadístico, para establecer patrones de comportamiento y probar teorías (Hernandez-Sampieri, 2014).

La tesis estuvo enfocada en recopilación de información extraída de bases de medición numéricas con variables medibles, luego fue procesada por un software estadístico.

### **2.3.2. Diseño Experimental**

Es propio de la investigación cuantitativa. Requiere la manipulación intencional de una acción (variables) para analizar sus posibles efectos. Consiste en medir o ubicar a un grupo de personas, objetos, fenómenos, en una variable o concepto y proporcionar su descripción (Hernandez-Sampieri, 2014).

En la investigación se evaluó el efecto de 3 variables independientes en 01 variables dependiente.

### **2.3.3. Nivel – Explicativo**

La investigación fue más allá de la descripción de conceptos o fenómenos o del establecimiento de relaciones entre conceptos; estuvo dirigido a responder a las causas de los eventos físicos o sociales, se centró en explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se da éste, o por qué dos o más variables están relacionadas. Las investigaciones explicativas son más estructuradas que las demás clases de estudios y de hecho implican los propósitos de ellas (exploración, descripción y correlación), además de que proporcionan un sentido de entendimiento del fenómeno a que hacen referencia (Hernandez-Sampieri, 2014).

En la investigación, se realizó una investigación a nivel explicativo, ya que buscó explicar las causas de influencia de las variables independientes (Velocidad, presión y temperatura de proceso) en la variable dependiente (contenido de vitamina C).

### 2.3.4. Tipo Aplicada

Su principal objetivo se basa en resolver problemas prácticos, con un margen de generalización limitado. De este modo genera pocos aportes al conocimiento científico desde un punto de vista teórico (Hernandez-Sampieri, 2014).

La investigación realizada trato de aplicar conocimientos en la parte práctica con la finalidad de corroborar hipótesis. La etapa de desarrollo está vinculada con la investigación de tipo aplicada.

### 2.3.5. Diseño estadístico

Se utilizó el diseño estadístico factorial 3x3x3, con tres variables independientes (temperatura, presión de vacío y velocidad de rotación) y 03 repeticiones; cuyos resultados se evaluarán mediante el modelo estadístico siguiente:

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

Donde:

$Y_{ijk}$  = Variable respuesta

$\mu$  = Media General

$A_i$  = Efecto de factor temperatura: 40, 50 y 60°C

$B_j$  = Efecto de factor de presión de vacío: 100, 200 y 300 mbar

$C_k$  = Efecto de factor de la velocidad de rotación: 20, 60 y 100 rpm

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

$(BC)_{jk}$  = Efecto de interacción de factores B y C

$(ABC)_{ijk}$  = Efecto de interacción de factores A, B y C

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

### 2.3.6. Métodos y procedimientos

#### A. Procedimiento para obtención de zumo de limón concentrado

La metodología para obtener el zumo de limón concentrado se muestra en la figura 1. Para el proceso se realizan las siguientes etapas:

**Recepción y selección.** Se evalúa los limones recepcionados y se selecciona las que estén en buen estado. Sin presentar daños de ningún tipo.

**Lavado.** Los limones pasan por dos etapas, primero limpieza con agua a presión y luego la desinfección con hipoclorito de sodio 20 ppm.

**Prensado.** Se realiza la extracción del zumo con ayuda de las prensas.

**Tratamiento de conservación.** Con la aplicación de sorbato de potasio.



**Filtrado o clarificación.** El zumo de limón pasó por la etapa de filtrado para eliminar sólidos de gran tamaño que perjudican el proceso.

**Evaporador.** Se realizó la concentración del zumo de limón en el rotavapor teniendo en cuenta las variables de temperatura (30, 40 y 50°C), Velocidad de rotación: 20, 60 y 100 rpm y presión de vacío (100, 200 y 300 mbar) por 4 horas de proceso.

**Almacenamiento.** Se almacenaron los productos a una temperatura de refrigeración al momento de realizar los análisis.

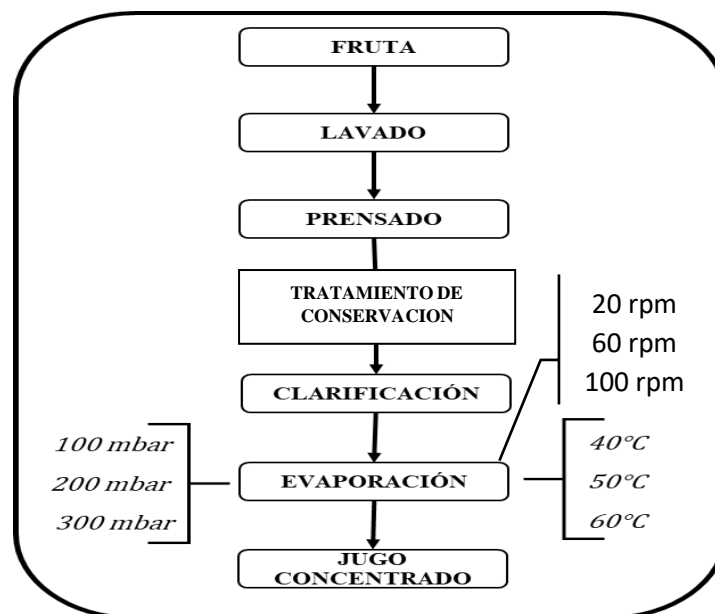


Figura 1. Diagrama para el concentrado de zumo de limón

El rotavapor usa la destilación controlada para evaporar sustancias y condensarlas para la separación de los compuestos básicos de la mezcla y concentrarlas. Se consiguió con el rotavapor generar la ebullición de las mezclas en estado líquido a temperaturas menores de lo normal controlando las condiciones. La función del rotavapor es que con él se pueden concentrar los zumos de frutas a condiciones de operación que conserven sus principales nutrientes y principios activos.

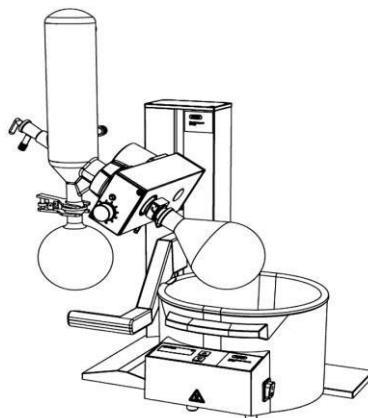


Figura 2. Evaporador rotativo (Rotavapor)

## B. Materiales e Instrumentación

### Materia prima

- Limón.

### Materiales

- Tubos de ensayo de con gradilla
- Pinzas, espátulas, papel filtro, cuchillos
- Probetas de 50, 100 y 250 mL.
- Fiolas de 25 mL, 50 mL, 100 mL y 1 L.
- Pipetas de 1, 5 y 10 mL.
- Vasos de precipitación de 50, 100, 250 y 500 mL.
- Matraces erlenmeyer de 100, 250, 500 y 1000 mL.

### Reactivos

- Agua destilada
- Fenolftaleína al 1%
- 2-6 Diclorofenolindofenol
- Hidróxido de sodio
- Ácido oxálico
- Ácido bórico al 4%
- Ácido ascórbico

### Equipos

- Equipo de titulación.
- pH - Metro: Marca: HANNA
- Refractómetro 0 – 50% °Brix RHB-50/ATC
- Espectrofotómetro, Marca: Boeco S200

- Rotavapor, marca MINGYI
- Balanza Analítica, Marca AND HR 200, precisión  $\pm 10$  mg

### C. Métodos de Análisis Físicoquímicos de la materia prima y producto final

#### Determinación del Contenido de Ácido Ascórbico:

Se determinó por el método espectrofotométrico (Ciancaglini, 2001) que se basa en la reducción del colorante 2-6-diclorofenolindofenol, por efecto del ácido ascórbico en solución. Primero calculamos L1, para ello se ajustó la absorbancia a cero con agua destilada, a una longitud de onda de 520 nm, luego se lee la absorbancia de un tubo con un contenido de 1 ml de ácido oxálico al 0.4% + 9 ml. de solución coloreada (2,6-diclorofenolindofenol), determinando L1.

Segundo calculamos L2, colocamos un 1 ml de filtrado + 9 ml. de agua destilada en un tubo y ajustamos la absorbancia. En un tubo adicional se colocó 1 ml. de filtrado + 9 ml. de solución coloreada, y tomo la absorbancia (L2) después de 15 segundos. Luego calculamos la diferencia de L2-L1 para curva patrón.

#### Determinación de acidez

Se determinó con el método 935.05 de la AOAC (2000). Los resultados se expresaron con los porcentajes de ácido cítrico y se calcularon con la fórmula siguiente:

$$\%acidez = \left( \frac{B \times N \times E}{V} \right) \times 100$$

Donde:

B = ml. de NaOH

N= Normalidad de NaOH

E= Peso mili equivalente del ácido cítrico

V= Volumen de la muestra en ml.

#### Determinación de pH

El pH se determinó con un potenciómetro digital (Marca: Hanna Instrument), por inmersión del electrodo en el zumo de limón previas calibraciones con soluciones buffers a pH 4, 7 y 10.

### Determinación de Grados °Brix

Se determinó la cantidad de sólidos totales solubles con un refractómetro ABBE (marca: Hand.Held Atago), lecturando los °Brix del equipo.

#### D. Análisis de datos

Para el análisis estadístico, utilizado fue Diseño Factorial 3x3 con 3 repeticiones, las variables analizadas fueron: 03 temperaturas (30, 40 y 50°C) y 03 presiones de vacío (100, 200 y 300 mbar) durante la concentración, con la intención de evaluar el efecto de esas variables sobre la conservación de la vitamina C durante la concentración del zumo de limón. Además, se utilizó el método de superficie respuesta para determinar los parámetros óptimos que evalúan el contenido de vitamina C. Para este análisis se utilizó el programa estadístico Design Expert 12.0, donde se aplicó el ANOVA para determinar las variables independientes con efecto significativo en la variable respuesta utilizando un valor  $P < 0.05$

**Tabla 2.**

Definiciones de variables y niveles del Diseño Factorial

Variable	Nombres	Unids	Tipos	Mínimos	Medios	Máximos	Mean
A	Presión de Vacío	mbar	Numérico	100	200	300	200
B	Temperatura	°C	Numérico	30	40	50	40
C	Velocidad de rotación	rpm	Numérico	20	60	100	60

**Tabla 3.**

Variable respuesta del Diseño Factorial

Respuestas	Nombres	Unids	Análisis
R1	Contenido de Vitamina C	mg/100 g	Polinomio

### III. RESULTADOS

#### 3.1. Características fisicoquímicas del limón sutil (*Citrus aurantifolia*)

En la tabla 4 se observan los resultados obtenidos para las características fisicoquímicas del zumo de limón sutil (*Citrus aurantifolia*), en la cual encontramos que tiene una humedad de 89.45%, los sólidos totales se encuentran en 7.42 °Brix, la acidez se encuentra en 5.48 % p/p, g a.c/100g muestra, el pH está en 2.36 y el contenido de vitamina C se encuentra en 55.1 mg a.a/100ml de zumo de limón.

**Tabla 4.**

Características fisicoquímicas del limón sutil (*Citrus aurantifolia*)

Característica fisicoquímica	Cantidad
Humedad (%)	89.45 ± 0.1
Sólidos totales (°Brix)	7.42 ± 0.10
Acidez (% p/p, g a.c/100g muestra)	5.48
pH	2.36 ± 0.01
Vitamina C (mg a.a/100ml de jugo)	55.1

#### 3.2. Efecto de los parámetros de operación durante el proceso de concentrado del zumo de limón (*Citrus aurantifolia*) en un evaporador rotatorio en el contenido de vitamina C.

Se utilizó una descripción cuantitativa en función a los efectos generados por cada variable más las interacciones en el contenido de vitamina C, para esto se aplicó el modelo un modelo empírico, en gráficos de interacción y de superficie tipo cubo.

Estas variables independientes fueron; velocidad de rotación, presión de vacío y temperatura de la operación unitaria de evaporación; cuya variable respuesta fue la cantidad de la Vitamina C en el zumo de limón.

**Tabla 5**

Resultados de la Conservación de la vitamina C del zumo de limón concentrado

Factor A: Presion de vacío	Factor C: Velocidad de rotación								
	20 RPM			60 RPM			100 RPM		
	Factor B: Temperatura								
	30°C	40°C	50°C	30°C	40°C	50°C	30°C	40°C	50°C
	14.65	12.27	8.92	14.88	12.61	9.21	15.19	12.89	9.6
100 mbar	14.53	11.02	10.56	14.72	11.32	10.91	15.02	11.69	11.35
	13.51	12.89	9.78	13.75	13.12	10.12	14.01	13.49	10.51
	22.68	17.29	13.67	22.9	17.72	14.02	23.67	18.11	14.63
200 mbar	23.02	18.86	12.64	23.28	19.26	13.02	23.72	19.72	13.41
	22.82	17.66	12.09	23.02	18.12	12.57	23.58	18.54	12.92
	29.03	24.81	20.29	29.31	25.27	20.76	29.68	25.63	21.19
300 mbar	29.56	26.71	19.07	29.87	27.15	19.41	30.22	27.55	19.89
	28.85	25.59	19.59	29.21	25.91	20.06	29.79	26.32	20.56

**Supuesto de normalidad**

La prueba de normalidad aplicada a los datos experimentales según el test de Shapiro Wilk nos muestra un valor de 0.052, el cual es mayor al p-Valor de 0.05, confirmando que los datos experimentales están distribuidos siguiendo una distribución normal.

La distribución de aleatoriedad de los residuos presentados en las Figuras 3, corroboran y dan validez de la correlación, debido a que los residuos se distribuyen de forma aleatoria en relación al cero, mostrando una distribución normal.

**Tabla 6**

Prueba de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Vitamina C	,169	27	,047	,925	27	,052

a. Corrección de significación de Lilliefors

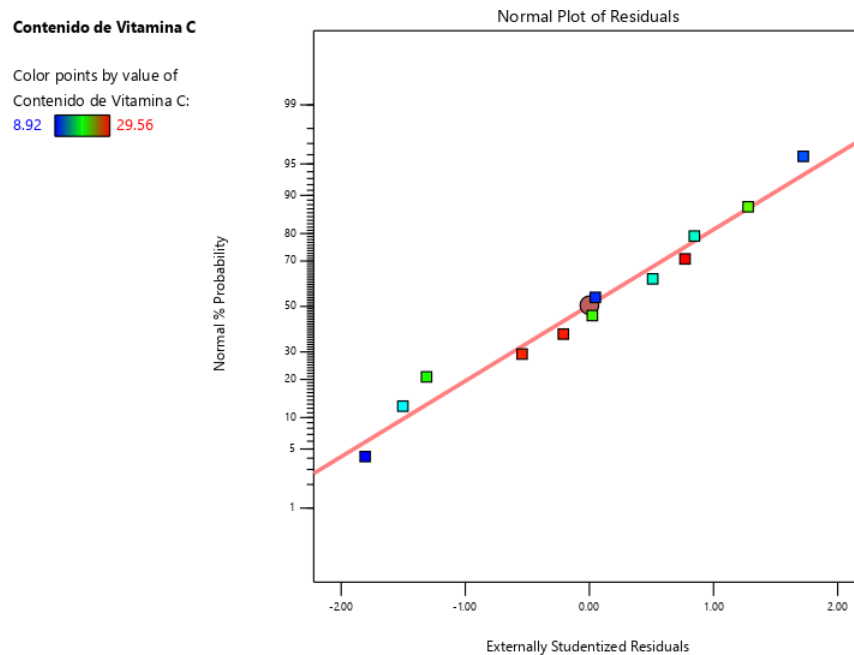


Figura 3. Grafica de probabilidad Normal y residuos del contenido de la Vitamina C.

### Prueba de Varianza

Según el test de Levene podemos decir que las varianzas son homogéneas según el p-valor = 0.556 el cual es mayor a 0.05, lo cual nos permite aceptar la hipótesis nula.

### Tabla 7

Prueba de Igualdad de Levene de la variable dependiente: Vitamina C

F	df1	df2	Sig.
,956	26	54	,537

Cumpléndose los supuestos de normalidad y varianza, confirmamos la aplicación de una prueba paramétrico de los datos, como es el ANOVA.

### Análisis de varianza - ANOVA

Podemos observar que la tabla 8 presenta el ANOVA para la respuesta en relación al contenido de vitamina C en el zumo de limón, conociendo que la fuente que genera variación del modelo se subdivide en ciertos componentes, Presión de vacío (A), temperatura (B) y velocidad de rotación (C), estos componentes son factores cuantitativos que cuentan con 3 niveles. Las interacciones AB, AC, BC y ABC de los componentes iniciales en el proceso.

**Hipótesis General**

H0: Los parámetros de temperatura, la presión de vacío y velocidad de rotación en la concentración de zumo de limón sutil (*Citrus aurantifolia*) no influyen en el contenido de la vitamina C.

H1: Los parámetros de temperatura, la presión de vacío y velocidad de rotación en la concentración de zumo de limón sutil (*Citrus aurantifolia*) influyen en el contenido de la vitamina C.

Nivel de significancia:  $\alpha=0.05$

Estadístico de prueba: ANOVA

**Tabla 8**

Prueba de efecto de temperatura, velocidad de rotación y presión de vacío en vitamina C

Origen	Tipo III de		Cuadrático		
	suma de cuadrados	gl	promedio	F	Sig.
Modelo corregido	3207,368 <sup>a</sup>	26	123,360	231,920	,000
Interceptación	28027,968	1	28027,968	52693,077	,000
Presión de Vacío	2257,285	2	1128,642	2121,868	,000
Temperatura	850,634	2	425,317	799,603	,000
Velocidad de rotación	7,829	2	3,914	7,359	,001
Presión de Vacío * Temperatura	91,389	4	22,847	42,953	,000
Presión de Vacío * Velocidad de rotación	,132	4	,033	,062	,993
Temperatura * Velocidad de rotación	,066	4	,016	,031	,998
Presión de Vacío * Temperatura * Velocidad de rotación	,035	8	,004	,008	1,00 0
Error	28,723	54	,532		
Total	31264,060	81			
Total, corregido	3236,091	80			

a. R al cuadrado = ,991 (R al cuadrado ajustada = ,987)



En la tabla 8, se observa que los parámetros de operación en la concentración de zumo de sutil (*Citrus aurantifolia*) en un evaporador rotativo luego de la aplicación del ANOVA muestra valores de significancia de  $0.000 < 0.05$  indicando que los parámetros de temperatura, Presión de vacío, velocidad de rotación y la interacción de presión de vacío y temperatura son significativos en la conservación de la vitamina C del zumo de limón, mas no las demás interacciones por presentar valores de significancia mayores a 0.05. Se determinó aceptar la hipótesis alternativa.

Según la tabla 9, el coeficiente de determinación  $R^2$  fue 0.9948, este estadístico indica que el 99.48% de las respuestas serán explicadas por el modelo y que el 0.52% no será explicado.

**Tabla 9**

Estadística de ajustes del modelo

Desv std	0.64	$R^2$	0.9948
Mean	18.55	Ajustes $R^2$	0.9928
C.V. %	3.45	Predicción $R^2$	0.9883
		Adecuada Precisión	52.4799

La predicción del  $R^2$  es 0.9883 y está muy relacionado con el ajuste que presenta un  $R^2$  de 0.9928; con una diferencia cercana a 0.01. La precisión Adecuada calculada por el cociente señal/ruido fue 52.4799 siendo superior a 4, cumpliendo con la norma, resaltando la adecuada señal.

### 3.3. Efecto de la temperatura en el concentrado del zumo de limón (*Citrus aurantifolia*) en un evaporador rotatorio en el contenido de vitamina C

#### *Hipótesis específica 1*

H01: La temperatura en la concentración de zumo de limón sutil (*Citrus aurantifolia*) en un evaporador rotativo no influyen en el contenido de vitamina C.

H11: La temperatura en la concentración de zumo de limón sutil (*Citrus aurantifolia*) en un evaporador rotativo influyen en el contenido de vitamina C.

Nivel de significancia:  $\alpha=0.05$

Estadístico de prueba: ANOVA

**Tabla 10**

Prueba de efecto de temperatura de concentración en la vitamina C

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo	850,634 <sup>a</sup>	2	425,317	13,907	,000
corregido					
Interceptación	28027,968	1	28027,968	916,462	,000
Temperatura	850,634	2	425,317	13,907	,000
Error	2385,458	78	30,583		
Total	31264,060	81			
Total, corregido	3236,091	80			

a. R al cuadrado = ,263 (R al cuadrado ajustada = ,244)

Según la tabla 10, el ANOVA aplicado para evaluar si la temperatura influye en el contenido de la vitamina C durante el proceso de concentración, podemos observar que el p-Valor = 0.00 < 0.05, indicando la existencia de significancia, es decir, existe una influencia de la temperatura de concentración de zumo en la vitamina C. Aceptando la hipótesis alterna.

### 3.4. Efecto de la presión de vacío en el concentrado del zumo de limón (*Citrus aurantifolia*) en un evaporador rotatorio en el contenido de vitamina C

#### *Hipótesis específica 2*

H02: La presión de vacío en la concentración de zumo de limón sutil (*Citrus aurantifolia*) en un evaporador rotativo no influyen en el contenido de vitamina C.

H12: La presión de vacío en la concentración de zumo de limón sutil (*Citrus aurantifolia*) en un evaporador rotativo influyen en el contenido de vitamina C.

Nivel de significancia:  $\alpha=0.05$

Estadístico de prueba: ANOVA

**Tabla 11**

Prueba de efecto de la Presión de vacío durante la concentración en la vitamina C

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo	2257,285 <sup>a</sup>	2	1128,642	89,940	,000
Modelo corregido					
Interceptación	28027,968	1	28027,968	2233,517	,000
Presión de Vacío	2257,285	2	1128,642	89,940	,000
Error	978,807	78	12,549		
Total	31264,060	81			
Total corregido	3236,091	80			

a. R al cuadrado = ,698 (R al cuadrado ajustada = ,690)

Según la tabla 11, en el ANOVA aplicado para evaluar si la presión de vacío influye en el contenido de la vitamina C durante el proceso de concentración, podemos observar que el p-Valor =  $0.00 < 0.05$ , indicando la existencia de significancia, es decir, existe una influencia de la presión de vacío durante la concentración de zumo en la vitamina C. Aceptamos la hipótesis alterna.

### 3.5. Efecto de la velocidad de rotación en el concentrado del zumo de limón (*Citrus aurantifolia*) en un evaporador rotatorio en el contenido de vitamina C.

#### *Hipótesis específica 2*

H02: La velocidad de rotación en la concentración de zumo de limón sutil (*Citrus aurantifolia*) en un evaporador rotativo no influyen en el contenido de vitamina C.

H12: La velocidad de rotación en la concentración de zumo de limón sutil (*Citrus aurantifolia*) en un evaporador rotativo influyen en el contenido de vitamina C.

Nivel de significancia:  $\alpha=0.05$

Estadístico de prueba: ANOVA

**Tabla 12**

Prueba de efecto de la velocidad de rotación durante la concentración en la vitamina C

Origen	Tipo III de suma		Cuadrático		
	de cuadrados	gl	promedio	F	Sig.
Modelo corregido	7,829 <sup>a</sup>	2	3,914	,095	,910
Interceptación	28027,968	1	28027,968	677,201	,000
Velocidad de rotación	7,829	2	3,914	,095	,910
Error	3228,263	78	41,388		
Total	31264,060	81			
Total corregido	3236,091	80			

a. R al cuadrado = ,002 (R al cuadrado ajustada = -,023)

Según la tabla 12, el ANOVA aplicado para evaluar si la velocidad de rotación influye en el contenido de la vitamina C durante la concentración, podemos observar que el p-Valor = 0.91 > 0.05, indicándonos que no existe significancia, es decir, la velocidad de rotación no influye en la concentración de zumo en la vitamina C. Aceptamos la hipótesis nula.

### 3.6. Parámetros óptimos de temperatura y presión de vacío de concentración de zumo de limón (*Citrus aurantifolia*) en un evaporador rotatorio para la conservación de la vitamina C.

En la tabla 13 podemos observar los coeficientes en relación a cada factor y el error asignado al modelo lineal utilizado. Este modelo nos permite describir el comportamiento del contenido de vitamina C en el zumo de limón concentrado, en función de los factores de Presión de vacío, temperatura y velocidad de rotación. Para la determinación del modelo se aplicó el programa Design Expert.

**Tabla 13**

Coeficientes en término de Factores y el error estándar del modelo

Factor	Coeficiente estimado	G.L.	Error estándar	95% CI bajo	95% CI alto	VIF
Intercepto	18.55	1	0.1848	18.12	18.97	
A-Presión de Vacío	6.30	1	0.1848	5.87	6.73	1.00
B-Temperatura	-3.40	1	0.1848	-3.82	-2.97	1.00
C-Velocidad de rotación	-0.9033	1	0.1848	-1.33	-0.477	1.00
AB	No aplica					
AC	No aplica					
BC	No aplica					
ABC	No aplica					

#### Ecuación final según los factores codificados

El modelo matemático determinado será aplicado para evaluar el contenido de vitamina C en el zumo de limón durante el proceso de concentración, teniendo en cuenta la influencia de la variable independiente en la variable dependiente. La ecuación es la siguiente:

$$\text{Contenido de vitamina C} = 18.55 + 6.30*A - 3.40*B - 0.9033*C$$

Los gráficos utilizados en la investigación fueron de interacción y de superficie respuesta tipo cubo, los cuales, ayudaron a evaluar la influencia de las variables independientes en la variable respuesta de contenido de vitamina C en el zumo de limón, mostrándose a continuación:

### Contenido de Vitamina C (mg)

X1 = A

X2 = B

Actual Factor

C = 60

■ B- 30  
▲ B+ 50

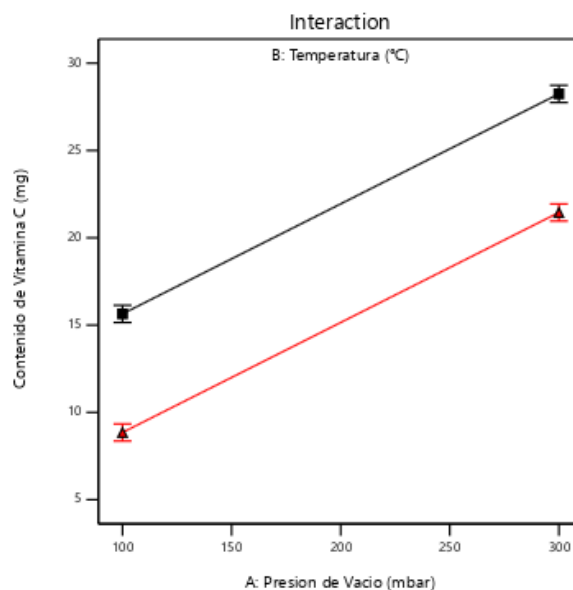


Figura 4. Gráfico de interacción de factores temperatura y la presión de vacío en la vitamina C

En la figura 4, el contenido de vitamina C del zumo de limón es afectado por los factores de temperatura, presión de vacío y velocidad de rotación del proceso de concentración. El contenido inicial de vitamina C fue 55.1 mg/ 100 ml de zumo de limón, reduciéndose en el proceso. Teniendo la velocidad de rotación a 60 RPM en el análisis, podemos decir que a una presión de vacío de 100 mbar, se observó que a una temperatura de 30°C el contenido de vitamina C fue de 14.45 mg/100 ml de zumo teniendo una disminución de 73.78% y cuando la temperatura fue de 50°C el contenido de vitamina C fue de 10.08 mg/100 ml de zumo disminuyendo en 81.71%. A una presión de vacío de 200 mbar, se observó que a una temperatura de 30°C el contenido de vitamina C fue de 23.07 mg/100 ml de zumo teniendo una disminución de 58.14% y cuando la temperatura fue de 50°C el contenido de vitamina C fue de 13.20 mg/100 ml de zumo disminuyendo en 76.05%. A una presión de vacío de 300 mbar, se observó que a una temperatura de 30°C el contenido de vitamina C fue de 29.46 mg/100 ml de zumo teniendo una disminución de 46.54% y cuando la temperatura fue de 50°C el contenido de vitamina C fue de 20.08 mg/100 ml de zumo disminuyendo en 63.56%.

### Contenido de Vitamina C (mg)

X1 = A

X2 = C

#### Actual Factor

B = 40

■ C- 20  
▲ C+ 100

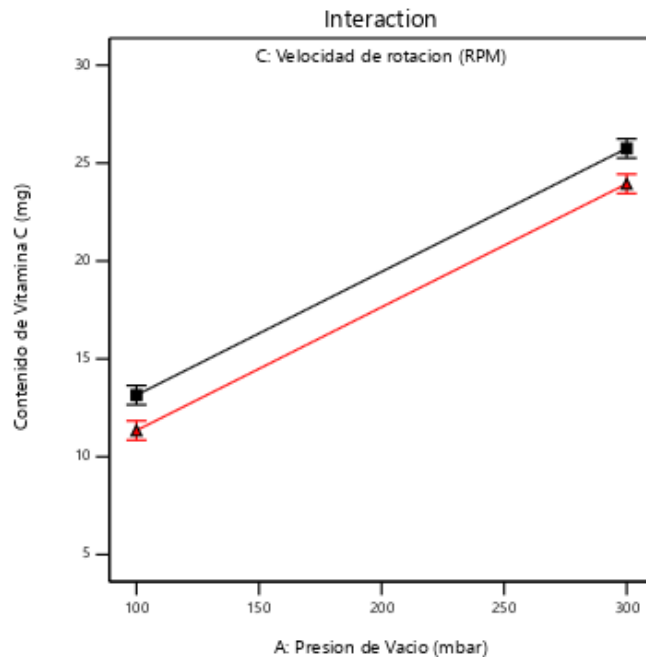


Figura 5. Grafico de interaccion de factores de velocidad de rotacion y presión de vacío en la vitamina C

Se puede observar en la figura 5, como la vitamina c del zumo de limón se ve afectada por los factores de temperatura, presión de vacío y velocidad de rotación del proceso de concentración. El contenido inicial de vitamina C fue de 55.1 mg/ 100 ml de zumo de limón, reduciéndose en el proceso. Teniendo la temperatura a 40°C como dato constante en el analisis, podemos decir a una presión de vacío de 100 mbar, se observo que a una velocidad de rotacion de 20 rpm el contenido de vitamina C fue de 12.06 mg/100 ml de zumo teniendo una disminucion de 78.12% y cuando la velocidad de rotación es 100 rpm el contenido de vitamina C fue de 12.69 mg/100 ml de zumo disminuyendo en 76.97%. A una presión de vacío de 200 mbar, se observo que a una velocidad de rotacion de 20 rpm el contenido de vitamina C fue de 17.94 mg/100 ml de zumo teniendo una disminucion de 67.45% y cuando la velocidad de rotación es 100 rpm el contenido de vitamina C fue de 18.79 mg/100 ml de zumo disminuyendo en 65.90%. A una presión de vacío de 300 mbar, se observo que a una velocidad de rotacion de 20 rpm el contenido de vitamina C fue de 25.70 mg/100 ml de zumo teniendo una disminucion de 53.36% y cuando la velocidad de rotación es 100 rpm el contenido de vitamina C fue de 26.50 mg/100 ml de zumo disminuyendo en 51.91%.

### Contenido de Vitamina C (mg)

X1 = B

X2 = C

#### Actual Factor

A = 200

■ C- 20  
▲ C+ 100

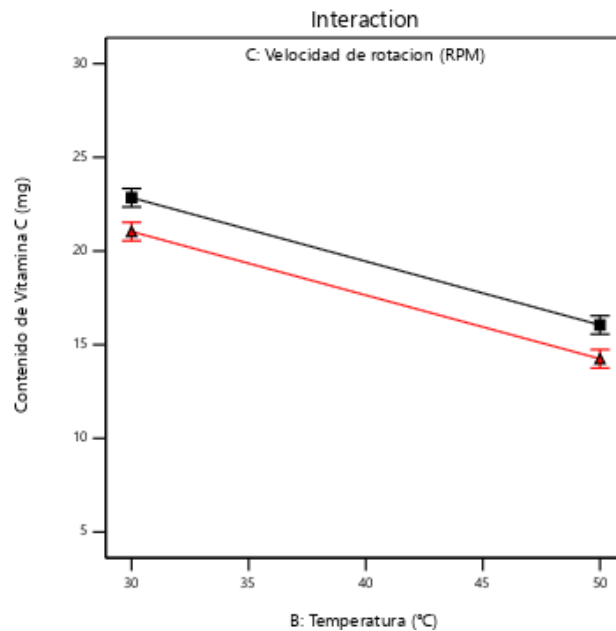


Figura 6. Grafico de interacción de factores temperatura y la velocidad de rotacion en la vitamina C

Se puede observar en la figura 6, como la vitamina c del zumo de limón se ve afectada por los factores de temperatura, presion de vacío y velocidad de rotación del proceso de concentracion. El contenido inicial de vitamina C fue de 55.1 mg/ 100 ml de zumo de limón, reduciendose en el proceso. Teniendo la presion de vacio a 200 mbar como dato constante en el analisis, podemos decir a una velocidad de rotacion de 20 rpm, se observo que a una temperatura de 30°C el contenido de vitamina C fue de 22.84 mg/100 ml de zumo teniendo una disminucion de 58.55% y cuando la temperatura fue 50°C el contenido de vitamina C fue de 12.80 mg/100 ml de zumo disminuyendo en 76.77%. A una velocidad de rotacion de 60 rpm, se observo que a una temperatura de 30°C el contenido de vitamina C fue de 23.07 mg/100 ml de zumo teniendo una disminucion de 58.14% y cuando la temperatura fue 50°C el contenido de vitamina C fue de 13.20 mg/100 ml de zumo disminuyendo en 76.05%. A una velocidad de rotacion de 100 rpm, se observo que a una temperatura de 30°C el contenido de vitamina C fue de 23.66 mg/100 ml de zumo teniendo una disminucion de 57.06% y cuando la temperatura fue 50°C el contenido de vitamina C fue de 13.65 mg/100 ml de zumo disminuyendo en 75.23%



Según la figura 7 se muestra el grafico de respuesta tipo cubo, indica los extremos de los niveles de cada una de las variables y su respuesta en funcion del contenido de vitamina C, con lo cual, podemos decir que a mayor presion de vacio, menor velocidad y menor temperatura, según los rangos, se obtiene un mayor contenido de vitamina C en el proceso de concentración.

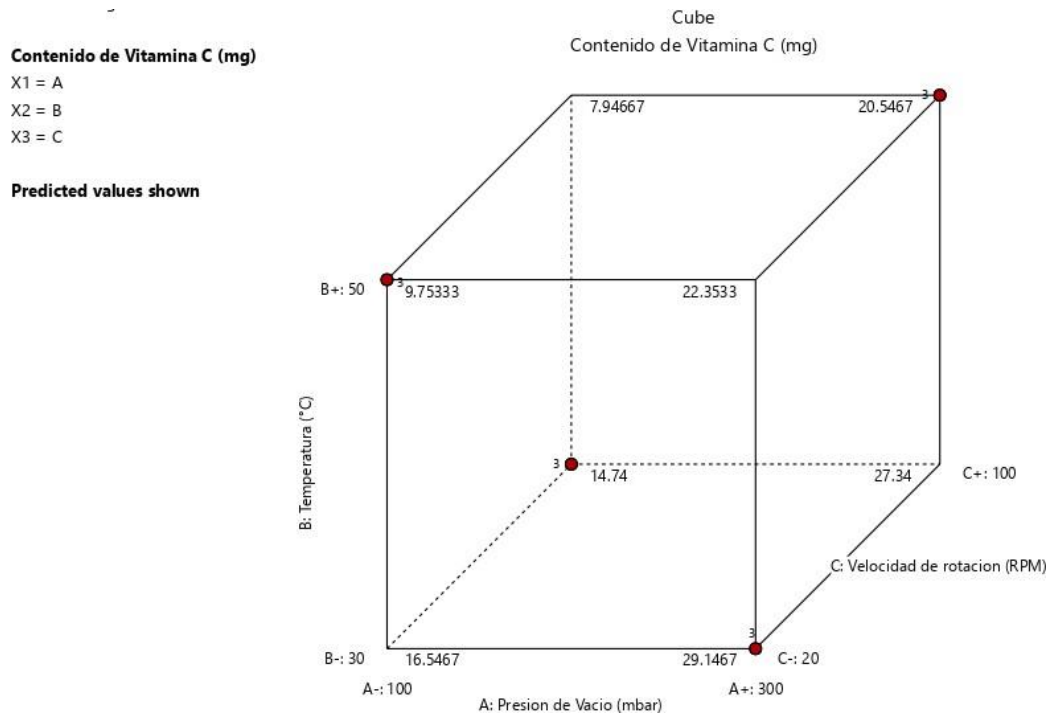


Figura 7. Grafico de superficie respuesta (cubo) de factores temperatura, la presión de vacío y velocidad de rotación en la vitamina C

### Optimización de los parámetros para conservar la vitamina C

Con los resultados vemos cómo influye la temperatura, velocidad de rotación y la presión de vacío durante la concentración de zumo de limón en la cantidad de Vitamina C, se determinaron las condiciones que maximizan el contenido de vitamina C. Para determinar las condiciones se utilizó el software design expert 12.0, con el que se analizó gráficamente la interacción de las tres variables, encontrándose una combinación en la cual maximizamos la cantidad de vitamina C. Los niveles evaluados en las variables fueron: Temperatura de 30°C, 40°C y 50°C; presión de vacío de 100 mbar, 200 mbar y 300 mbar; y velocidad de rotación de 20 RPM, 60 RPM y 100 RPM. Mostrándose las condiciones en la tabla 14.

**Tabla 14**

Reporte de los resultados en condiciones optimas

Nombre	Limite	Límite inferior	Límite superior	Importancia
Presión de vacío	En el rango	100 mbar	300 mbar	+++
Temperatura	En el rango	30 °C	50 °C	+++
Velocidad de rotación	En el rango	20 RPM	100 RPM	+++
Vitamina C	Maximizando	8.92	29.56	+++++

Con la aplicación de programa estadístico Design Expert, logramos obtener las siguientes soluciones:

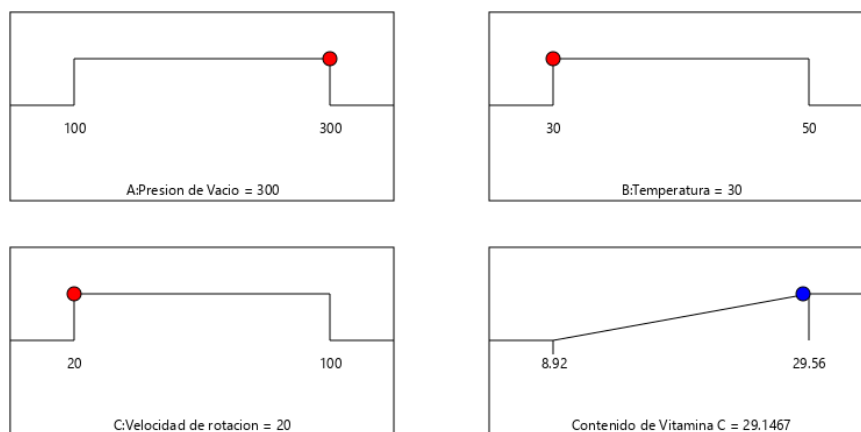


Figura 8. Solución con parámetros óptimos de factores.

Según la solución, para maximizar el contenido de vitamina C en el de zumo de limón concentrado se logra utilizando una temperatura de 30 °C, velocidad de rotación de 20 RPM y una presión de vacío de 300 mbar.

Los coeficientes óptimos se muestran en la 15, con los cuales se determina en modelo cinético de la cantidad de vitamina C en el zumo de limón concentrado, teniendo como variables a la temperatura, velocidad de rotación y precio de vacío en el rotavapor.

Tabla 15

Tabla de coeficientes óptimos de la cinética de degradación de vitamina C

	Intercept	A	B	C
Vitamina C	18.5467	6.3	-3.39667	-0.903333
p-values		< 0.0001	< 0.0001	0.0012

El modelo cinético predictivo para la conservación de la vitamina C es:

$$\begin{aligned}
 \textit{Vitamina C} = & 18.5467 + 6.3 * \textit{presion de vacio} - 3.39667 * \textit{temperatura} \\
 & - 0.903333 * \textit{velocidad de rotacion}
 \end{aligned}$$

#### IV. DISCUSIÓN

Las características fisicoquímicas del zumo de limón sutil (*Citrus aurantifolia*), en la cual se determinó una humedad de 89.45%, la cual es corroborada por Moreiras, Carbajal, Cabrera, & Cuadrado (2013) que indicaron una humedad de 88.9%; y Puente (2006) que obtuvo una humedad de 90.1%. Como siguiente característica fisicoquímica tenemos a los sólidos totales que se encontraron en 7.42 °Brix, que se corrobora con la investigación realizada por Puente (2006) que determinó 8.2 °Brix, además Rodríguez, Florido, & Hernández (2020) indicaron que el zumo tiene 7.35 °Brix. Como siguiente característica fisicoquímica tenemos el caso de la acidez se encuentra en 5.48 % p/p, g a.c/100g muestra, siendo corroborado por Rodríguez, Florido, & Hernández (2020) que indicaron una acidez de 6.14 % p/p, g a.c/100g muestra, mientras que para Guerrero, Flores, Jo, Lama, & Mao (2012) se encuentra en 5.29 % p/p, g a.c/100g muestra. Para el caso de la característica fisicoquímica correspondiente al pH, podemos decir que se encuentra en 2.36, dato similar al encontrado por Guerrero, Flores, Jo, Lama, & Mao (2012) se encuentra en 1.9, mientras que Rodríguez, Florido, & Hernández (2020) que indicaron un pH de 2.14; y para Pinillos y Polo (2014) fue 2.4. Para el caso del contenido de vitamina C, se encuentra en 55.1 mg a.a/100ml de zumo de limón, este dato es corroborado por Pinillos y Polo (2014) que indicó un contenido de 48.11 mg a.a/100ml de zumo de limón. Además Puente (2006) determinó 45.01 mg a.a/100ml de zumo de limón.

Según los resultados de las figuras 4, 5 y 6, se observa que la reducción del contenido de vitamina C: a 20 rpm, 30°C y 100 mbar fue 74.18%; a 20 rpm, 50°C y 100 mbar fue 82.31%; a 20 rpm, 30°C y 200 mbar fue 58.53%; a 20 rpm, 50°C y 200 mbar fue 58.14%; a 20 rpm, 30°C y 300 mbar fue 47.10%; a 20 rpm, 50°C y 300 mbar fue 64.34%; a 100 rpm, 30°C y 100 mbar fue 73.25%; a 100 rpm, 50°C y 100 mbar fue 80.97%; a 100 rpm, 30°C y 200 mbar fue de 57.06%; a 100 rpm, 50°C y 200 mbar fue 75.23%; 100 rpm, 30°C, 300 mbar fue 45.74%; y 100 rpm, 50°C y 300 mbar fue 62.71%, con una gran variación entre extremos de 36.57% indicando las diferencias producto a las tres variables. Y según la contratación de hipótesis, los parámetros de operación en la concentración de zumo de sutil (*Citrus aurantifolia*) en un evaporador rotativo luego de la aplicación del ANOVA muestra valores de significancia de  $0.000 < 0.05$  indicando que los parámetros de temperatura, Presión de vacío, velocidad de rotación e interacciones son significativos en la conservación de la vitamina C del zumo de limón, con lo cual, se acepta la hipótesis alternativa. Lo cual es respaldado por Munyaka, Makule, Oey-I, &

Hendrickx (2010) que determinó que la presencia de la vitamina C se ve afectada de forma significativa mientras se genera el desarrollo de las etapas de procesamiento en frutas y hortalizas por causa de los factores como la variación de pH, la interacción de los iones metálicos, la Presión de vacío en el equipo, la exposición al oxígeno y las altas temperaturas. Además, según Nagy (1980) y Manso, Oliveira, Oliveira, & Frias (2001) determinaron que los parámetros de procesamiento térmico como temperatura y Presión afectan los productos generados a partir de frutas, siendo la más afectada la vitamina C. También Ordoñez & Yoshioka (2012) indican que el procesamiento y el tiempo del almacenamiento afectan el contenido de vitamina C. Según Ibarz y Barbosa (2005) el coeficiente de transferencia de calor se reduce en función del tiempo de intercambio de calor debido a la adhesión de partículas a las paredes del intercambiador. Para Singh & Heldman (2009) y Ibarz y Barbosa (2005) esto ocurre debido al aumento ebulloscópico generado por el aumento de solutos en la solución en proceso de concentración. Con lo cual, para Buchi (2022) el coeficiente de transferencia de calor tiene una mejoría de forma significativa cuando se mantiene el líquido en movimiento constante con ayuda de un mezclador como el caso de la evaporación rotatoria.

Según los resultados mostrados en la figura 4, a una velocidad de rotación fija de 100 rpm, se observó que para una presión de vacío de 100 mbar, el contenido de vitamina C a 30°C se redujo en 73.25% y a 50°C se redujo en 80.97%; a una presión de vacío de 200 mbar, el contenido de vitamina C a 30°C se redujo en 57.06% y a 50°C se redujo en 75.23%; y a una presión de vacío de 300 mbar, el contenido de vitamina C a 30°C se redujo a 45.74% y a 50°C se redujo a 62.71%; mostrando una reducción del contenido de vitamina C en el zumo de limón en función al aumento de la temperatura. Y según la contrastación de la hipótesis, el análisis de varianza aplicado para evaluar si la temperatura influye en el contenido de la vitamina C durante el proceso de concentración, podemos observar que el p-Valor = 0.00 < 0.05, indicando la existencia de significancia, es decir, existe una influencia de la temperatura de concentración de zumo en la vitamina C. Con lo cual se acepta la hipótesis alternativa. Estos resultados obtenidos a nivel estadístico e inferencial muestran la influencia de la temperatura en la vitamina C, que tiene relación con los encontrados en la investigación de Cortes, Cabrera, & Ortega (2018) que indican que la vitamina C presentó degradación con el tiempo y con el incremento de la temperatura. También según Tenesaca (2010), reportó en deshidratado de uchuva un contenido de ácido ascórbico de 105.69 mg/100g con pérdidas de 32% a una temperatura

óptima de 60°C, debido a que a esta temperatura hay menos pérdida de vitamina C, reportando mayor pérdida a mayor temperatura. Respaldo por Gebczynki, Skoczen, & Kur (2017) que indica que la presencia de ácido ascórbico oxidasa, metales, luz, oxígeno y temperatura son los factores que generan efectos contraproducentes a la estabilidad de la vitamina C. También Lee & Kader (2000) indicaron que la luz y temperatura son factores exógenos que tiene influencia significativa en la síntesis de vitamina C en las plantas. También, Adisa (1986) indica que una elevada temperatura y un periodo prolongado de almacenamiento disminuye el nivel de vitamina C, debido a su condición de termolábil y la exposición al oxígeno. Del mismo modo, Pinillos y Polo (2014) en su investigación concluyeron que el ácido ascórbico en el proceso de secado se vio disminuido por el incremento de temperatura en el proceso.

Según los resultados de la figura 5, a una velocidad de rotación fija de 60 rpm, se observó que para una temperatura de 30°C, el contenido de vitamina C a una presión de vacío de 100 mbar se redujo en 73.78%, a 200 mbar se redujo a 58.14% y a 300 mbar se redujo 46.54%; mostrando una variación amplia en función del cambio de presión de vacío. Y según la contrastación de hipótesis, en el análisis de varianza aplicado para evaluar si la presión de vacío influye en el contenido de la vitamina C durante el proceso de concentración, podemos observar que el p-Valor = 0.00 < 0.05, indicando la existencia de significancia, es decir, existe una influencia de la presión de vacío durante la concentración de zumo en la vitamina C. Con lo cual se acepta la hipótesis alterna, debido a que existe un buen respaldo en investigaciones básicas y aplicadas; y los resultados se marcan de forma más visible ante la variación de la presión en relación a la vitamina C. Según Avalo, Pérez, & Tovar (2009) en su investigación determinó que después de 34 minutos el efecto N°2 a 77°C y 52.3 Kpa tuvo una conservación de 19.62 mg A.A./100 ml de zumo de jugo mientras que el efecto N°1 a 102°C y 19.6Kpa se mantuvo una conservación de 1.09 mg A.A./100 ml zumo de naranja, indicando que la presión de vacío ayuda a reducir la temperatura de evaporación de agua durante la concentración de zumo manteniendo mayor contenido de vitamina C en el producto. Además, Elik, Koçak, Maskan, & Göğüş (2016) en su investigación determinó que la pérdida total de fenoles durante la concentración fue mayor en la técnica de recipiente abierto (36,54%). Según Yousefi, Emam-Djomeh, Mohammad, & Gholam (2012) en su investigación concluyen que las tasas de degradación de la capacidad antioxidante aumenta al aumentar la presión del proceso ya que al variar la presión del proceso de 12 a 100 kPa aumentó la tasa de

degradación en un 41% en el método de evaporación rotatoria y 60% en calentamiento por microondas. Según Romero (2020) en su investigación concluyó que el mejor tratamiento en reducción de vitamina C fue el menor espesor y la baja presión con una pérdida de 6.42%. Se ve respaldado por Geankoplis (1998) que indica que para utilizar una menor temperatura de proceso se necesita un aumento de presión de vacío durante la operación de evaporación, consiguiendo la separación por evaporación de la fracción acuosa. Además, según Ibarz & Barbosa (2005) es fundamental indicar que en la industria alimentaria podemos encontrar distintos alimentos que presentan componentes que son benéficos pero la salud del consumidor pero tienen la condición de ser termolábiles, y son significativamente afectados por exposición a temperaturas elevadas; para el caso de la operación unitaria de evaporación es necesario operar con la Presión de vacío, para evitar afectar estos compuestos debido a que la temperatura de ebullición de la solución sería menor.

Según los resultados de la figura 6, a una presión de vacío fija de 200 rpm, se observó que para una temperatura de 30°C, el contenido de vitamina C a una velocidad de rotación de 20 rpm se redujo en 58.55%, a 60 rpm se redujo a 58.14% y a 100 rpm se redujo 57.62%; mostrando una variación mínima del contenido de vitamina C en función del cambio de la velocidad de rotación. Y según la contrastación de hipótesis, el análisis de varianza aplicado para evaluar si la velocidad de rotación influye en el contenido de la vitamina C durante el proceso de concentración, podemos observar que el p-Valor = 0.91 > 0.05, indicándonos que no existe significancia, es decir, la velocidad de rotación no influye en la concentración de zumo en la vitamina C. Con lo cual se acepta la hipótesis nula. Sabiendo que la velocidad centrifuga permite ampliar la zona de exposición en un evaporador, la investigación muestra resultados con diferencia en relación al intervalo analizado para esta variable, lo cual nos indica que debería ampliarse el rango. Aunque según Sánchez (1984) en su investigación determinó que al aumentar la velocidad de rotación en un equipo, el coeficiente de transferencia de calor aumenta mejorando el flujo de calor debido a aumento de área de interacción. Además, Brennan, Butters, Cowell, & Lilley (1990), afirmaron que el aumento de las temperaturas de ebullición en la mezcla generan la viscosidad elevada que tiende a la reducción de la velocidad de circulación y la reducción del coeficiente de transmisión de calor. También Buchi (2022) indicó que el coeficiente de transferencia de calor mejora al mantener el líquido en movimiento constante con un mezclador aplicando la tecnología de evaporación rotatoria. Además,

Guzmán (2019) indicó en una investigación desarrollada que existe una relación de gran significancia entre la velocidad de rotación generada en el equipo y el coeficiente de transferencia de calor, ya que al aumentar la velocidad de giro el coeficiente también aumenta. Con lo cual, se cumple lo indicado por Singh & Heldman (2009) que hacen referencia que esto ocurre debido al aumento ebulloscópico generado por el aumento de solutos en la solución, generando un incremento del coeficiente de transferencia.



## V. CONCLUSIONES

**Primera.** Las características fisicoquímicas del zumo de limón sutil (*Citrus aurantifolia*), en la cual encontramos que tiene una humedad de 89.45%, los sólidos totales se encuentra en 7.42 °Brix, la acidez se encuentra en 5.48 % p/p, g a.c/100g muestra, el pH está en 2.36 y el contenido de vitamina C se encuentra en 55.1 mg a.a/100ml de zumo de limón.

**Segunda.** Los parámetros de operación en la concentración de zumo de sutil (*Citrus aurantifolia*) en un evaporador rotativo luego de la aplicación del ANOVA muestra valores de significancia de  $0.000 < 0.05$  indicando que los parámetros de temperatura, Presion de vacío, velocidad de rotación y la interacción de presión de vacío y temperatura son significativos en la conservación de la vitamina C del zumo de limón, mas no las demás interacciones por presentar valores de significancia mayores a 0.05.

**Tercera.** La temperatura influye en la concentración de vitamina C durante el proceso de concentración de zumo de limón, debido a que el p-Valor =  $0.00 < 0.05$ , indicando la existencia de significancia.

**Cuarta.** La presión de vacío influye en la concentración de vitamina C durante el proceso de concentración de zumo de limón, debido a que el p-Valor =  $0.00 < 0.05$ , indicando la existencia de significancia.

**Quinto.** La velocidad de rotación no influye en la concentración de vitamina C durante el proceso de concentración de zumo de limón, debido a que el p-Valor =  $0.91 > 0.05$ , indicándonos que no existe significancia.

**Sexto.** La ecuación óptima para la investigación realizada teniendo como parámetros óptimos de temperatura a 30°C, presión de vacío a 300 mbar y velocidad de rotación de 100 rpm durante el proceso de concentración, es la siguiente: Contenido de vitamina C =  $18.5467 + 6.3 * \text{presión de vacío} - 3.39667 * \text{temperatura} - 0.903333 * \text{velocidad de rotación}$ ; con un nivel de confianza del 95% y un p-valor < 0.01.

## VI. RECOMENDACIONES

**Primera.** Desarrollar estudios cuantitativos con diseños experimentales relacionados a la capacidad antioxidante de los distintos frutos de la zona para plantear mejorar en los procesos productivos y aumentar la rentabilidad de las empresas.

**Segunda.** Diseñar productos nuevos tomando insumos de la región con alto contenido de compuestos bioactivos con alto grado de aceptación por el consumidor.

**Tercera.** Realizar investigaciones con enfoques cuantitativos con diseños experimentales analizando la aceptabilidad del producto en un mercado objetivo, el análisis de inversión y el tiempo de vida útil con pruebas aceleradas en base a los compuestos bioactivos.

**Cuarto.** Evaluar los efectos del encapsulado y determinar las condiciones de liofilización en la capacidad antioxidante de las frutas de la región.

**Quinto.** Evaluar el efecto de los parámetros de evaporación en otras características de calidad como el color, olor, textura, viscosidad de productos del sector alimentos.

**Sexto.** Realizar investigación relacionada a las variaciones del coeficiente de transferencia de calor en función a la velocidad de rotación y concentración de soluto en zumos o pastas.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A.O.A.C. (2000). *Official methods of Analysis*. 16th Edition. Association of official Analytical Chemists. Washington D.C, USA.
- Abulude, F., Ogunkoya, M., & Oni, V. (2006). Mineral composition, shelf-life and sensory attributes of fortified "Kunuzaki" beverage, *Acta Sci. Pol., Technol. Aliment.*, 5(1):155-162.
- 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.
- ailimpo. (12 de Noviembre de 2021). *Valor nutricional de los limones*. Obtenido de Asociacion interprofesional de limon y pomelo.: [https://www.ailimpo.com/documentos/Valores\\_nutricionales\\_Limones.pdf](https://www.ailimpo.com/documentos/Valores_nutricionales_Limones.pdf)
- Apestequia, I. (2009). *Efecto diurético del zumo del fruto del limón (Citrus limón L.) en ratas de experimentación. [Tesis de posgrado]*. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Apestequia, I. (2009). *Efecto diurético del zumo del fruto del limón (Citrus limón L.) en ratas de experimentación. [Tesis de Posgrado]*. Lima-Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Ariza, F., Tejacal, I., Beltrán, M., Ambriz, C., Aarón, L., Barrios, A., & Barbosa, M. (2014). Calidad de los frutos de naranja "valencia" en morelos, México. . *Revista Iberoamericana de tecnologia postcosecha*, 11, 148-153.
- Avalo, B., Pérez, S., & Tovar, M. (2009). Caracterización preliminar del proceso de concentración del jugo natural de naranja en un evaporador de tres efectos. *Interciencia*, (34)11, 784-790 pp. Recuperada de <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=33913148005>.
- Ayala, L., Pabón, J., & Correa, F. (2018). Una mirada a la evaporación como operación en la industria química. *Fundación Universidad de América*, 13(1).DOI: <https://doi.org/10.29097/23461098.304> .
- Batty, J., & Folkman, S. (1990). *Fundamentos de la ingeniería de alimentos*. Mexico: Compañía Editorial Continental.
- Beal, T., Massiot, E., Arsenault, J., Smith, M., & Hijmans, R. (2017). Global trends in dietary micronutrient supplies and estimated prevalence of inadequate intakes. *PLoS One*, 12(4). DOI: 10.1371/journal.pone.0175554.

- Bineesh, N., Singhal, R., & Pandit, A. (2005). A study on degradation kinetics of ascorbic acid in drumstick (*Moringa olifera*) leaves during cooking. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85, 1953-1958.
- Brennan, J., Butters, J., Cowell, N., & Lilley, A. (1990). *Las operaciones de la ingeniería de los alimentos. Traducido por Justino Burgos González*. Zaragoza, España.: 3ª edición. Editorial Acribia, S. A.
- Buchi. (26 de Enero de 2022). *Técnica de evaporación rotatoria y proceso de destilación*. Obtenido de Buchi world: <https://www.buchi.com/es/conocimiento/tecnologias/evaporacion>
- Calabrese G., M. L. (2013). Effects of vitamin C on health: A review of evidence. *Biosci-Landmark*.
- Castillo, E. (2019). Vitamina C en la salud y en la enfermedad. . *Rev. Fac. Med. Hum.*, 19(4):95-100. DOI 10.25176/RFMH.v19i4.2351.
- Chawla, J., & Kvarnberg, D. (2014). Handbook of Clinical Neurology. *Elsevier B.V.*, 891-914 pp.
- Christie-David, D., & Gunton, J. (2017). Vitamin C deficiency and diabetes mellitus - easily missed? *Diabetic medicine : a journal of the British Diabetic Association*, 34(2):294-296. doi: 10.1111/dme.13287.
- Ciancaglini, P. (2001). Using a classical method of vitamin C quantification as a tool for discussion of its role in the body. . *Revista Biochemistry and molecular biology education*, 29 (3), pp. 110-114.
- Codex-Alimentario. (2004). *Norma del codex para la naranja - CS 245. Codex Alimentarius*.
- Cortes, M., Cabrera, Y., & Ortega, R. (2018). Efecto del almacenamiento sobre uchuva acondicionada con componentes fisiológicamente activos y deshidratada por aire caliente. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, DOI: 10.31910/rudca.v21.n2.2018.989.
- Cuastumal, H., Valencia, B., & Ordóñez, L. (2016). Efectos de los tratamientos térmicos en la concentración de vitamina C y color superficial en tres frutas tropicales. *Revista Lasallista de Investigación*, 13(1), 85-93 pp.
- Domínguez, E., & Ordoñez, E. (2013). Evaluación de la actividad antioxidante, vitamina C de zumos cítricos de Lima dulce (*Citrus limetta*), limón tahiti (*Citrus latifolia*), limón riguroso (*Citrus jambhiri* Lush) y mandarina Cleopatria (*Citrus reshni*) almacenados en refrigeración. *Investigación y Amazonía*, 3 (1): 30-35.

- Flores, M. (2004). Implicaciones de los paradigmas de investigación en la práctica educativa. *Revista Digital Universitaria*, 5 (1), 2-9. Recuperada de [https://www.revista.unam.mx/vol.5/num1/art1/ene\\_art1.pdf](https://www.revista.unam.mx/vol.5/num1/art1/ene_art1.pdf).
- Gan, R., Eintracht, S., & Hoffer, L. (2008). Vitamin C deficiency in a university teaching hospital. *J Am Coll Nutr*, 27(3):428-33. doi: 10.1080/07315724.2008.10719721.
- Garces, L. (2006). *Determinación de propiedades físico-Químicas del limón (Citrus limón) [Tesis pregrado]*. Ecuador: Universidad Tecnica de Ambato.
- García, G., García, A., Mejía, O., Clavijo, D., Hernández, S., Báez, S., & Cobos, C. (2006). Aspectos bioclínicos y patobiológicos de la vitamina C en la especie humana. *Rev CES Med*, 20(2):53-72. .
- Geankoplis, C. (1998). *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. Mexico. Geankoplis, C. (1998). *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. (3a ed.) Continental S. A. .
- Gebczynki, P., Skoczen, S., & Kur, K. (2017). Effect of storage on the content of selected antioxidants and quality attributes in convection and freeze-dried pears (*Pyrus communis* L.). *Ital. J. Food Sci.* , 21(2): 454-462. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 21(1): 427-437, recuperada de <https://doi.org/10.31910/rudca.v21.n2.2018.989>.
- Granger, M., & Eck, P. (2018). Dietary Vitamin C in Human Health. . *Advances in food and nutrition research*, 83, 281–310. <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2017.11.006>.
- Grosso, G., Mistretta, A., Marventano, A., Calabrese, G., Masuelli, L., & Gazzolo, D. (2013). Effects of vitamin C on health: A review of evidence. *Front Biosci-Landmark*, 18:1017-1029.
- Grunauer, E. C. (2009). *Influencia del Secado sobre la Captación de Agua de Pectina extraída a partir del Citrus x urantifolia Swingle.* . En C. C. Grunauer Espinoza. Guayaquil.
- GÜEMEZ, F. Z., Zapata, J., Gonzales, E., Kú-Ché, M., & Lechuga, P. (2010). *Potencialidades del mercado nacional e internacional de la hesperidina de origen natural obtenida de la naranja como sustituto de antioxidantes químicos en la industria alimentaria.* . México.: SINNCO.
- Guerrero, D., Flores, A., Jo, O., Lama, D., & Mao, J. (2012). *Diseño y experimentacion de la linea de produccion de una planta procesadora de alimentos. [Tesis de Pregrado]*. Piura: Recuperada de

- [https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1561/PYT%2C\\_Informe\\_Final%2C\\_GreenLemon%2C\\_v1.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1561/PYT%2C_Informe_Final%2C_GreenLemon%2C_v1.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
- Guzman, S. (2019). *Relación entre el coeficiente de transferencia de calor (HTC) y la velocidad de agitación en quencho test. [Tesis de Posgrado]*. Mexico: Universidad Autónoma de Nuevo León. Recuperado de <http://eprints.uanl.mx/18007/1/1080288718.pdf>.
- Hediger, M. (2002). New view at C. . *Nature Medicine*, 8, 445–446. <https://doi.org/10.1038/nm0502-445>.
- Hernandez-Sampieri, R. (2014). *Metodología de la Investigación*. . Mexico: McGRAW-HILL / Interamericanas Editores, S.A. .
- Ibarz, A., & Barbosa, G. (2005). *Operaciones unitarias en la ingeniería de alimentos*. Madrid: Grupo Mundi-Prensa.
- INS. (11 de Noviembre de 2021). *Micronutrientes. Sala situacional alimentaria nutricional 3*. Obtenido de Instituto Nacional de Salud. Centro Nacional de Alimentación y nutrición: [https://web.ins.gob.pe/sites/default/files/Archivos/cenan/van/sala\\_nutricional/sala\\_4/2016/01\\_Sala\\_Situacional\\_Alimentaria\\_Nutricional\\_3\\_Micronutrientes.pdf](https://web.ins.gob.pe/sites/default/files/Archivos/cenan/van/sala_nutricional/sala_4/2016/01_Sala_Situacional_Alimentaria_Nutricional_3_Micronutrientes.pdf)
- Kuhn, T. (1962). *The structure of scientific revolutions (2da ed.)*. Enlarged. Chicago: Foundations of the Unity of Science. Recuperada de <https://www.lri.fr/~mbl/Stanford/CS477/papers/Kuhn-SSR-2ndEd.pdf>.
- Ladaniya, M. (2008). Citrus Fruit: Biology, Technology and Evaluation. . *Elsevier Inc.*, 1-10. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-012374130-1.50003-6>.
- Lee, S., & Kader, A. (2000). Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest Biology and Technology*, 20(3): 207 – 220.
- Leiton, R., Mosquera, V. E., Ochoa, M. C., & Ayala, A. A. (2016). Evaluación de propiedades físico-químicas en secado de naranja (*Citrus sinensis*) mediante liofilización: influencia del espesor. *Agronomía Colombiana*, (1) 302-304. Doi: 10.15446/agron.colomb.sup.2016n1.58087.
- Levine, M. (1986). New concepts in the biology and biochemistry of ascorbic acid. . *he New England journal of medicine*, 314(14), 892–902. <https://doi.org/10.1056/NEJM198604033141407>.

- Manso, M., Oliveira, F., Oliveira, J., & Frias, J. (2001). Modelling ascorbic acid thermal degradation and browning in orange juice under aerobic conditions. *International Journal Of Food Science and Technology*, 36(3): 303-312.
- Marsanasco, M., Márquez, A., Wagner, J., & Chiaramoni, N. (2011). Liposomes as vehicles for vitamins E and C: An alternative to fortify orange juice and offer vitamin C protection after heat treatment. *Food Res Int.*, 44(9)3039-3046.
- McCabe, W., & Smith, J. (1991). *Operaciones básicas de ingeniería química*. Editorial Reverte, 564 pp.
- Moreiras, O., Carbajal, A., Cabrera, L., & Cuadrado, C. (2013). *Tablas de composición de alimentos*. Editorial Pirámide.
- Mosdol, O., Erens, B., & Brunner, E. (2008). Estimated prevalence and predictors of vitamin C deficiency within UK's low-income population. *J Public Health (Oxf)*, 30(4):456-60. doi: 10.1093/pubmed/fdn076.
- Mosquera, E., Ayala, A., & Ochoa, C. (2012). Influencia de la congelación con nitrógeno líquido sobre el secado de naranja por liofilización. *Vitae*, (19)1. 204-206. Recuperada de [https://www.researchgate.net/publication/313342065\\_INFLUENCIA\\_DE\\_LA\\_CONGELACION\\_CON\\_NITROGENO\\_LIQUIDO\\_SOBRE\\_EL\\_SECADO\\_DE\\_NARANJA\\_POR\\_LIOFILIZACION](https://www.researchgate.net/publication/313342065_INFLUENCIA_DE_LA_CONGELACION_CON_NITROGENO_LIQUIDO_SOBRE_EL_SECADO_DE_NARANJA_POR_LIOFILIZACION).
- Munyaka, A., Makule, E., Oey-I, V., & Hendrickx, M. (2010). Thermal Stability of L-Ascorbic Acid and Ascorbic Acid Oxidase in Broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*). *J Food Sci.*, 75 (4), C336-C340.
- Murray, L. (2013). *Bioquímica de Harper*. . 29va Edición. Madrid, España. : Ed. McGraw-Hill. 1528 p.
- Nagy, S. (1980). Vitamin C contents of citrus fruit and their products: a review. *Journal of agricultural and food chemistry.*, 28(1), 8-18. <https://doi.org/10.1021/jf60227a026>.
- Ordoñez, L., & Yoshioka, L. (2012). Cinética de degradación térmica de vitamina C en pulpa de mango (*Mangifera indica* L). *tae* , 19: 81-83.
- Ortiz, F. (2018). *Caracterización fisicoquímica del jugo de limón sutil conservado mediante congelación rápida por aire forzado y un análisis comparativo con el jugo de limón sutil en fresco*. [Tesis de Pregrado]. Piura: Universidad Nacional de Piura.

- Padilla, A. (2019). *Cinética de la destrucción térmica del pardeamiento no enzimático del zumo de maracuyá (passiflora edulis) durante la concentración mediante un evaporador de doble efecto [Tesis de pregrado]*. Chimbote: Universidad Nacional de Santa. Recuperado de <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/2870350>.
- Patton, M. (1990). *Qualitative evaluation and research methods* (2nd. ed.). Newbury Park, CA: Sage, 532 pp. Recuperada de <https://doi.org/10.1002/nur.4770140111>.
- Pinillos, I., & Polo, C. (2014). *Identificación de la temperatura optima de secado y cuantificación del porcentaje de vitamina c en el zumo de limon secado por atomización. [Tesis de Pregrado]*. Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo.
- Popper, K. (2008). *La lógica de la investigación científica*. Madrid: Editorial Tecnos S.A. Recuperada de <http://www.raularagon.com.ar/biblioteca/libros/Popper%20Karl%20-%20La%20Logica%20de%20la%20Investigacion%20Cientifica.pdf>.
- Puente, H. (2006). *Determinacion de las características físicas y químicas del limon sutil (Citrus aurantifolia Swingle). [Tesis de pregrado]*. Ecuador: Universidad Tecnica del Norte. .
- Ratanachu, S., Sukswai, P., Jeerathanyasakun, Y., & Wongtapradit, L. (2003). Scurvy in pediatric patients: a review of 28 cases. *Journal of the Medical Association of Thailand*, 86 Suppl 3, S734–S740. Recuperada de <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/14700174/>.
- Rekha, C., Poornima, G., Manasa, M., Abhipsa, V., Pavithra, D., Vijay-Kumar, H., & Prashith-Kekuda, T. (2012). Ascorbic acid, total phenol content and antioxidant activity of fresh juices of four ripe and unripe citrus fruits. . *Chem Sci Trans.*, 1(2), 303-310. DOI:10.7598/cst2012.182. .
- Ricoy, C. (2006). Contribución sobre los paradigmas de investigación. *Revista do Centro de Educação*, 31 (1), 11-22. Recuperada de <https://www.redalyc.org/pdf/1171/117117257002.pdf>.
- Rodríguez, A., Florido, A., & Hernández, T. (2020). Determinación de parámetros fisicoquímicos en jugos de frutas cítricas. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, Vol. 5, 233-238. Recuperada de <http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume5/5/3/47.pdf>.
- Rodríguez, J. A., & Pérez, J. A. (2017). Métodos científicos de indagación y de construcción del conocimiento. *Revista Escuela de Administración de Negocios*, (82) 1-26. DOI: <https://doi.org/10.21158/01208160.n82.2017.1647>.



- Rojero, M., García, J., Serrano, B., Félix, M., & Ríos, G. (2008). Simulación de un evaporador de doble efecto. caso de estudio: jarabe de azúcar. . *Revista Investigación Científica*, 4(2), 1-6.
- Romero, C. (2020). *Liofilización de zumo de naranja de la variedad Valencia y Tangelo y su influencia en la degradación de la vitamina C [Tesis de Pregrado]*. Tarapoto-Perú: Universidad Nacional de San Martín.
- Romero, C. (2020). *Liofilización de zumo de naranja de la variedad Valencia y Tangelo y su influencia en la degradación de la vitamina C. [Tesis de Pregrado]*. Tarapoto-Perú: Universidad Nacional de San Martín.
- Sanchez, O. (1984). *Transferencia de calor entre cilindros concéntricos. [Tesis de posgrado]*. Argentina: Universidad de Buenos Aires. Recuperada de [https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/download/tesis/tesis\\_n1835\\_Sanchez.pdf](https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/download/tesis/tesis_n1835_Sanchez.pdf).
- Schleicher, r., Carroll, M., Ford, E., & Lacher, D. (2009). Serum vitamin C and the prevalence of vitamin C deficiency in the United States: 2003-2004 National Health and Nutrition Examination Survey (NHANES). *Am J Clin Nutr*, 90(5):1252-63. doi: 10.3945/ajcn.2008.27016.
- Schvab, M., Ferreyra, M., Gerard, L., & Davies, C. (2013). Parámetros de calidad de jugos de naranja entrerrianas. *Rev. Iber. Tecnología Postcosecha*. , 14(1): 85 - 92.
- Shaik-Dasthagirisahab, Y., Varvara, G., Murmura, G., Saggini, A., Caraffa, A., Antinolfi, P., & Pandolfi, F. (2013). Role of vitamins D, E and C in immunity and inflammation. . *J Biol Reg Homeos Ag.*, 27(2).
- Singh, P., & Heldman, D. (2009). *Introducción a la ingeniería de los alimentos. [2da edición]*. España: Acribia S.A.
- Singh, R., & Heldman, D. (2009). *Introducción a la ingeniería de los alimentos*. España: Editorial Acribia, S.A.
- Tenesaca, J. (2010). *Evaluación nutricional de la uvilla (Physalisperuviana L.) deshidratada, a tres temperaturas mediante un deshidratador de bandejas [Tesis de grado]*. Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Recuperada de [https://www.semanticscholar.org/paper/Evaluaci%C3%B3n-Nutricional-de-la-Uvilla-\(-Physalis-L.\)-Tenesaca-Roc%C3%ADo/71d82bee24dd7cb3ee656624fe1c0381122277f8](https://www.semanticscholar.org/paper/Evaluaci%C3%B3n-Nutricional-de-la-Uvilla-(-Physalis-L.)-Tenesaca-Roc%C3%ADo/71d82bee24dd7cb3ee656624fe1c0381122277f8).
- Verbeyst, L., Bogaerts, L., Van der Plancken, I., Hendrickx, M., & Van-Loey. (2012). Modelling of Vitamin C Degradation during Thermal and High-Pressure

- Treatments of Red Fruit. *Food and Bioprocess Technology* , 6(4). DOI:10.1007/s11947-012-0784-y.
- Vilaplana, M. (2007). Antioxidantes presentes en los alimentos. Vitaminas, minerales y suplementos. *Ambito farmaceutico nutricional*, 26(10). Recuperada de <https://www.elsevier.es/es-revista-offarm-4-pdf-13112893>.
- Villagr a, M., Muñoz, M., Troncoso, C., Morales, C., & Mardones, L. (2019). Una mirada actual de la vitamina C en salud y enfermedad. *Rev Chil Nutr*, 46(6): 800-808. Recuperada de <https://www.scielo.cl/pdf/rchnut/v46n6/0717-7518-rchnut-46-06-0800.pdf>.
- Waalter, P. (1994). Vitamin requirements and vitamin enrichment of foods. *Food Chem.* , 49(2):113-117.
- Walter, P. (1994). Vitamin requirements and vitamin enrichment of foods. *Food Chem.*
- Watts, C., Rodríguez, J., Pay n, J., Bruin, H., & de-Stewart, J. (1999). Estimación de evaporación y radiación solar en el valle del Yaqui, Sonora, usando datos de satélite. . *Ingeniería Hidráulica en México*, 14(3), 45-53.
- Yahia, E. (2011). *Postharvest biology and technology of tropical and subtropical fruits: Volumen 2.* . Philadelphia, USA: Woodhead Publishing. 560 p.

**ANEXOS**

**ANEXO 1:****a. Elaboración de la curva de vitamina C.**

La curva se construyó con los datos siguientes, cumpliendo con la metodología indicada.

**Tabla 16.**

Datos para elaborar la curva de la vitamina C

Concentración mg/100g	Absorbancia 520 nm
1	0.063
2	0.097
3	0.123
4	0.165
5	0.203
10	0.291
20	0.394
30	0.537

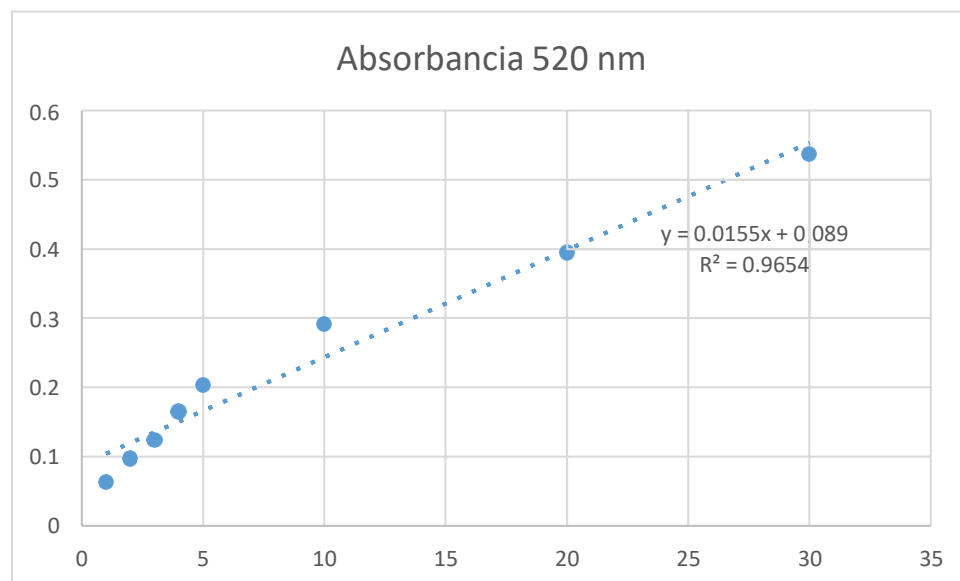


Figura 9. Curva patrón de la vitamina C

La figura 10 nos muestra la curva patrón de la vitamina C, con la expresión siguiente:  $y = 0.0155X + 0.089$  con un coeficiente de determinación  $R^2=0.9654$ ; dando seguridad en su utilización debido a su cercanía a 1.

## ANEXO 2. Resultados de humedad %

**Tabla 17**

Resultados de la humedad del zumo de limón concentrado

Factor A: Presion de vacío	Factor C: Velocidad de rotación								
	20 RPM			60 RPM			100 RPM		
	Factor B: Temperatura								
	30°C	40°C	50°C	30°C	40°C	50°C	30°C	40°C	50°C
100 mbar	89	89.1	89.2	89.1	89.3	89.4	89.2	89.1	89.2
	89	89.1	89.2	89.1	89.3	89.4	89.2	89.1	89.2
	89	89.1	89.2	89.1	89.3	89.4	89.2	89.1	89.2
200 mbar	89	89.1	89.2	89.1	89.3	89.4	89.2	89.1	89.2
	89	89.1	89.2	89.1	89.3	89.4	89.2	89.1	89.2
	89	89.1	89.2	89.1	89.3	89.4	89.2	89.1	89.2
300 mbar	89	89.1	89.2	89.1	89.3	89.4	89.2	89.1	89.2
	89	89.1	89.2	89.1	89.3	89.4	89.2	89.1	89.2
	89	89.1	89.2	89.1	89.3	89.4	89.2	89.1	89.2

## ANEXO 3. Resultados de Solidos totales (°Brix)

**Tabla 18**

Resultados de solidos totales del zumo de limón concentrado

Factor A: Presion de vacío	Factor C: Velocidad de rotación								
	20 RPM			60 RPM			100 RPM		
	Factor B: Temperatura								
	30°C	40°C	50°C	30°C	40°C	50°C	30°C	40°C	50°C
100 mbar	7.42	7.43	7.38	7.39	7.41	7.44	7.45	7.48	7.49
	7.42	7.43	7.38	7.39	7.41	7.44	7.45	7.48	7.49
	7.42	7.43	7.38	7.39	7.41	7.44	7.45	7.48	7.49
200 mbar	7.42	7.43	7.38	7.39	7.41	7.44	7.45	7.48	7.49
	7.42	7.43	7.38	7.39	7.41	7.44	7.45	7.48	7.49
	7.42	7.43	7.38	7.39	7.41	7.44	7.45	7.48	7.49
300 mbar	7.42	7.43	7.38	7.39	7.41	7.44	7.45	7.48	7.49
	7.42	7.43	7.38	7.39	7.41	7.44	7.45	7.48	7.49
	7.42	7.43	7.38	7.39	7.41	7.44	7.45	7.48	7.49

## ANEXO 4. Resultados de Acidez

**Tabla 19**

Resultados de la acidez del zumo de limón concentrado

Factor A: Presion de vacío	Factor C: Velocidad de rotación								
	20 RPM			60 RPM			100 RPM		
	Factor B: Temperatura								
	30°C	40°C	50°C	30°C	40°C	50°C	30°C	40°C	50°C
100 mbar	5.47	5.49	5.48	5.49	5.48	5.47	5.48	5.49	5.44
	5.47	5.49	5.48	5.49	5.48	5.47	5.48	5.49	5.44
	5.47	5.49	5.48	5.49	5.48	5.47	5.48	5.49	5.44
200 mbar	5.47	5.49	5.48	5.49	5.48	5.47	5.48	5.49	5.44
	5.47	5.49	5.48	5.49	5.48	5.47	5.48	5.49	5.44
	5.47	5.49	5.48	5.49	5.48	5.47	5.48	5.49	5.44
300 mbar	5.47	5.49	5.48	5.49	5.48	5.47	5.48	5.49	5.44
	5.47	5.49	5.48	5.49	5.48	5.47	5.48	5.49	5.44
	5.47	5.49	5.48	5.49	5.48	5.47	5.48	5.49	5.44

## ANEXO 5. Resultados de pH

**Tabla 20**

Resultados del pH del zumo de limón concentrado

Factor A: Presion de vacío	Factor C: Velocidad de rotación								
	20 RPM			60 RPM			100 RPM		
	Factor B: Temperatura								
	30°C	40°C	50°C	30°C	40°C	50°C	30°C	40°C	50°C
100 mbar	2.36	2.37	2.33	2.38	2.39	2.36	2.36	2.37	2.38
	2.36	2.37	2.33	2.38	2.39	2.36	2.36	2.37	2.38
	2.36	2.37	2.33	2.38	2.39	2.36	2.36	2.37	2.38
200 mbar	2.36	2.37	2.33	2.38	2.39	2.36	2.36	2.37	2.38
	2.36	2.37	2.33	2.38	2.39	2.36	2.36	2.37	2.38
	2.36	2.37	2.33	2.38	2.39	2.36	2.36	2.37	2.38
300 mbar	2.36	2.37	2.33	2.38	2.39	2.36	2.36	2.37	2.38
	2.36	2.37	2.33	2.38	2.39	2.36	2.36	2.37	2.38
	2.36	2.37	2.33	2.38	2.39	2.36	2.36	2.37	2.38