

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL
DEPARTAMENTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS



**Determinación del factor Q para establecer la vida útil
de un concentrado de fruto.**

Por:

ALEJANDRA JIMÉNEZ HERRERA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:
INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

Saltillo, Coahuila, México

Septiembre 2018

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL
DEPARTAMENTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

Determinación del factor Q para establecer la vida útil
de un concentrado de fruto.

Por:

ALEJANDRA JIMÉNEZ HERRERA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

Aprobado por el Comité de Asesoría:





M.C. Mildred Inna Marcela Flores Verástegui

Dra. Dolores Gabriela Martínez Vázquez

Asesor

Asesor



Dr. Armando Robledo Olivo

Co-asesor



Dr. José Dueñez Alanís

Coordinador de la División de Ciencia Animal



Saltillo, Coahuila, México

Septiembre 2018.

El **ÉXITO** es la suma
de pequeños **ESFUERZOS**,
que se repiten cada día.

Robert Collier

Agradecimientos:

Antes que nada, le doy gracias a **Dios** por permitirme llegar hasta aquí. Por darme la bendición de ver culminada mi carrera y por siempre darme fuerza para seguir adelante.

En especial a mi Alma Mater **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro**, que orgullo haber formado parte de ella. Me abrió sus puertas, permitiéndome una educación de calidad y una excelente formación profesional.

Sus hermosas instalaciones, su alto nivel académico, así como su esfuerzo y compromiso con la Agricultura y la buena alimentación, me hacen sentir orgullosa de ser buitre.

Agradezco profundamente a mis asesora principal **M.C. Mildred Inna Marcela Flores Verastegui** por la disposición, compromiso, su tiempo e infinita paciencia. Por enseñarme y demostrarme que cuando en verdad se quiere trabajar, se pueden realizar grandes cosas.

Especial agradecimiento a la Doctora **Dolores Gabriela Martínez Vázquez** por su amabilidad, esencial colaboración, tiempo, apoyo y paciencia para la realización de este trabajo.

Y en general a los maestros que formaron parte de mi carrera profesional, excelente desempeño de todos y cada uno. Agradezco los conocimientos compartidos, todo el esfuerzo y la preparación para impartir sus clases.

Dedicatoria

Principalmente a mis padres **Rosario Herrera** y **Mario Jiménez**, aunque no haya tenido que pedirlo ni merecerlo, ustedes me criaron, me dieron todo lo que estuvo en sus posibilidades para que yo creciera y me convirtiera en una persona de bien. Y por eso considero que mis logros, son suyos también.

Gracias mamá, porque siempre has estado conmigo, apoyándome a ser mejor cada día, escuchándome y siendo mi cómplice en todo. Agradezco infinitamente todo tu esfuerzo, el tiempo invertido y tus sacrificios. Me diste las mejores bases, me inculcaste valores, me brindaste mucha confianza y sobre todo amor.

Agradezco a mi papá, porque siempre ha confiado en mí, jamás me ha negado nada y siempre logró hacer mejor cada día con su actitud positiva. Te agradezco hacer tanto por nosotros, por procurar que nada nos falte, por consentirme tanto. Me siento orgullosa de ser tan parecida a ti en muchos aspectos.

A mi hermano **Eduardo** mi pequeño confidente, apoyo y compañía en todo. Gracias por quedarte tantas veces conmigo a estudiar, por preocuparte y ayudarme. Tu paciencia infinita y consejos es algo que valoro mucho y te convierte en un ser muy importante en mi vida, te quiero demasiado y te deseo el mayor de los éxitos.

A mi hermana **Sofía**, te agradezco muchísimo toda tu paciencia conmigo y tu cariño, eres la más linda, tierna y comprensiva; me encanta compartir contigo tantas cosas y en verdad agradezco que seas mi hermana. Deseo que logres mucho más de lo que te propongas, porque sé que eres capaz.

A mi hermano **Mario**, del que siempre escucho una tremenda sinceridad, en serio te agradezco que nunca me digas sólo lo que quiero escuchar, si no lo que es mejor;

gracias por ser como eres, porque estoy segura que si alguien más te lastima o me lastima estaremos ahí el uno para el otro, te quiero mucho y te deseo éxito infinito porque sé que lo mereces.

A mis abuelos **Jesús Herrera y Cleotilde García**, existe una infinidad de pequeñas pero importantes cosas que pasan desapercibidas y por las que no les he agradecido. Quiero que sepan que esa gratitud vive en mi corazón porque yo no puedo imaginar que sería de mi vida si ustedes no formaran parte de ella. Son un gran ejemplo de personas, los admiro y quiero muchísimo.

A mis tíos **Jesús Manuel y Eduardo Daniel**, a mis tías **Alma Rosa y María Martínez**, a mis primos hermosos **David Jesús, Luis Ángel y Francisco Antonio** y a mis primas **Alma Guadalupe y Daniela Alejandra**, gracias por todo lo que hemos compartido, por formar siempre parte de mi vida, cada uno de ustedes aunque de manera diferente son muy especiales para mí. Les deseo el mayor de los éxitos en lo que decidan emprender. ¡Los quiero mucho!

En especial, a mi tía **Yolanda Herrera**, siempre ha sido un ejemplo para mí la gran cantidad de cosas que has logrado, creo que ha sido muy valiente la manera en la que has enfrentado las cosas y continuado con tu vida laboral en el ámbito que más te gusta. Eres muy buena y ¡te quiero mucho!

Amiga **Carolina Casas**, te agradezco infinitamente por tu compañía y amistad desde el primer día de clases, eres lo mejor que la Narro me pudo brindar. Tantas historias, tantos recuerdos que nos unen, hemos compartido momentos inolvidables, eres única e incondicional. Que alegría coincidir contigo y llamarte mejor amiga. ¡Te quiero mucho!

ÍNDICE GENERAL

Capítulo I	1
1. Introducción.....	1
1.1 Justificación.....	1
1.2 Hipótesis.....	3
1.3 Objetivo general.....	4
1.4 Objetivos específicos.....	4
Capítulo II	5
2. Marco Teórico.....	5
2.1 Tecnología de alimentos.....	5
2.1.2 La industria alimentaria.....	5
2.2 Concentrado de fruto.....	6
2.3 Cactáceas.....	7
2.4 Pitaya.....	8
2.5 Atributos de calidad en alimentos.....	9
2.6 Antioxidantes.....	9
2.7 Compuestos fenólicos.....	10
2.7.1 Fenoles.....	11
2.7.2 Flavonoides.....	11
2.8 Betalaínas.....	12
2.8.1 Betaxantinas.....	13
2.8.2 Betacianinas.....	13
2.9 Importancia de la caducidad.....	13
2.10 Deterioro de alimentos.....	14
2.11 Vida de anaquel.....	15
2.12 Cinéticas de deterioro.....	16
2.13 Métodos para la estimación de la vida útil.....	17

2.13.1 Estudios acelerados para la estimación de la vida útil.....	17
2.14 Factor Q10.....	19
Capítulo III.....	20
3 Materiales y métodos.....	13
3.1 Ubicación del sitio experimental	20
3.2 Metodología.....	20
3.2.1 Descripción del diagrama de flujo del proceso de obtención del concentrado de fruto y datos experimentales	21
3.2.2 Descripción del diagrama de flujo del proceso de análisis de datos y cálculo de la vida útil del concentrado de fruto.....	23
Capítulo IV.....	27
4 Resultados y Discusiones.....	27
4.1. Datos experimentales de atributos de calidad mediante el uso de espectrofotómetro.....	27
4.2 Graficación de tiempo vs cálculo de atributos de calidad.....	29
4.3 Cálculo de k	38
4.4 Efecto de la temperatura.....	38
4.5 Determinación del tiempo.....	41
4.6 Cálculo del factor Q10.....	43
4.7 Determinación de Ln Q10.....	46
4.8 Cálculo del log vida útil.....	47
Capítulo V.....	49
5 Conclusiones.....	49
Capítulo VI.....	50
6 Referencias Bibliográficas.....	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cambio del atributo de calidad contra tiempo, en el efecto del orden de la reacción.....	18
Figura 2. Proceso de obtención del concentrado de fruto y datos experimentales.....	20
Figura 3. Proceso de análisis de datos y cálculo de la vida útil del concentrado de fruto.....	21
Figura 4: Grafica de fenoles a 11.3 °C, evaluando tiempo vs 1/At.....	30
Figura 5: Grafica de fenoles a 21.3 °C, evaluando tiempo vs 1/At.....	31
Figura 6: Grafica de fenoles a 31.3 °C, evaluando tiempo vs 1/At.....	31
Figura 7: Grafica de flavonoides a 11.3 °C, evaluando tiempo vs 1/At.....	32
Figura 8: Grafica de flavonoides a 21.3 °C, evaluando tiempo vs 1/At.....	33
Figura 9: Grafica de flavonoides a 31.3 °C, evaluando tiempo vs 1/At.....	33
Figura 10: Grafica de betaxantinas a 11.3 °C, evaluando tiempo vs 1/At.....	34
Figura 11: Grafica de betaxantinas a 21.3 °C, evaluando tiempo vs 1/At.....	35
Figura 12: Grafica de betaxantinas a 31.3 °C, evaluando tiempo vs 1/At.....	35
Figura 13: Grafica de betacianinas a 31.3 °C, evaluando tiempo vs 1/At.....	36
Figura 14: Grafica del efecto de la temperatura en fenoles.....	37
Figura 15: Grafica del efecto de la temperatura en flavonoides.....	37
Figura 16: Grafica del efecto de la temperatura en betaxantinas.....	39
Figura 17: Grafica del efecto de la temperatura en betacianinas.....	40
Figura 18: Determinación del factor Q10 de fenoles.....	40
Figura 19: Determinación del factor Q10 de flavonoides.....	41
Figura 20: Determinación del factor Q10 de betaxantinas.....	44
Figura 21: Determinación del factor Q10 de betacianinas.....	44
Figura 22: Datos de cálculos del log de vida útil fenoles.....	45
Figura 23: Datos de cálculos del log de vida útil flavonoides.....	45
Figura 24: Datos de cálculos del log de vida útil betaxantinas.....	48
Figura 25: Datos de cálculos del log de vida útil betacianinas.....	48
Figura 26: Datos de cálculos del log de vida útil betaxantinas.....	49

Figura 27: Datos de cálculos del log de vida útil betacianinas.....	49
Figura 28: Resultado de análisis estadístico fenoles.....	50
Figura 29: Resultado de análisis estadístico flavonoides.....	51
Figura 30: Resultado de análisis estadístico betaxantinas.....	51
Figura 31: Resultado de análisis estadístico betacianinas.....	52

ÍNDICE DE TABLAS:

Tabla 1: Ecuaciones para calcular la vida útil de acuerdo al orden de reacción...	26
Tabla 2: Promedios de datos experimentales de fenoles.....	27
Tabla 3: Promedios de datos experimentales de flavonoides.	28
Tabla 4: Promedios de datos experimentales de betaxantinas.....	28
Tabla 5: Promedios de datos experimentales de betaxantinas.....	29
Tabla 6: Datos experimentales de fenoles a los diferentes tiempos y temperaturas evaluadas.....	30
Tabla 7: Datos experimentales de flavonoides a los diferentes tiempos y temperaturas evaluadas.....	31
Tabla 8: Datos experimentales de betaxantinas a los diferentes tiempos y temperaturas evaluadas.....	34
Tabla 9: Datos experimentales de betacianinas a los diferentes tiempos y temperaturas evaluadas.....	36
Tabla 10: Datos obtenidos de k para los diferentes atributos de calidad.....	38
Tabla 11: Resultados de los cálculos efectuados para el efecto de la temperatura, evaluado en los diferentes atributos de calidad.....	39
Tabla 12: Cálculos de K_0 para los diferentes atributos de calidad evaluados.....	41
Tabla 13: Concentraciones mínimas aceptables para los atributos de calidad evaluados.....	42
Tabla 14: Determinaciones del tiempo a los diferentes atributos de calidad.....	42
Tabla 15: Resultados del factor Q10.....	43
Tabla 16: Determinación del factor Q10 de flavonoides.....	46
Tabla 17: Determinación del Ln factor Q10 de flavonoides.....	46
Tabla 18: Datos de cálculos del log de vida útil.....	47

Resumen

En México, la pitaya se consume como producto fresco y también se emplea en la elaboración de jugos, mermeladas, ate, concentrados y dulces entre otros; aunque hay poca información sobre la composición química de la pitaya, es importante mencionar que contiene gran variedad de nutrientes y se puede considerar como un alimento funcional, por la presencia de altas concentraciones de compuestos fenólicos.

Se realizó la presente investigación en particular sobre un concentrado de la variedad *Pachycereus grandis*, con el objetivo de determinar la vida de anaquel evaluando atributos de calidad como fenoles, flavonoides, betaxantinas y betacianinas, ya que un producto con éxito comercial debe tener una caducidad aceptable y consistente.

Son bien conocidos los efectos que causa aumentar la temperatura en muchas reacciones químicas, así como los cambios negativos que tienen lugar en el almacenamiento. Por lo tanto, la manera más común de realizar la determinación rápida de vida útil, consiste en almacenar el producto a temperaturas controladas, donde cualquier efecto adverso que tenga lugar en el almacenamiento podrá ser observado en un período de tiempo menor, pudiendo determinar de esta manera la fecha de caducidad del producto en condiciones normales de almacenamiento, mediante la extrapolación de los datos obtenidos.

De esta manera se realizó el siguiente trabajo de investigación, calculando a tres temperaturas controladas 11.3, 21.3 y 31.3 °C el factor Q10. Se puede determinar que conforme más alta es la temperatura, mayor influencia ejerce en la velocidad de degradación de estos compuestos antioxidantes y que las betaxantinas y betacianinas, son más estables en comparación con los fenoles y flavonoides que presentan un deterioro más rápido.

Palabras clave: Vida útil, pitaya, calidad, fenoles, flavonoides y factor Q10.

CAPÍTULO I

1. Introducción

En México, el uso de las cactáceas como alimento está fuertemente arraigado en las costumbres de su población, ya sea aprovechando el tallo, el fruto y/o sus semillas. En las grandes ciudades se ha incrementado la demanda de frutos que contienen compuestos fitoquímicos que proporciona beneficios a la salud humana, ya que juegan un papel importante en la prevención de enfermedades crónicas.

(Corzo Ruíz, et al., 2016)

Sin embargo, aunque los productos de las cactáceas son conocidos en México desde la época precolombina y han sido utilizados de varias formas desde nuestros antepasados (fruta fresca, colorante, medicina, etc.), ahora han alcanzado precios atractivos en los mercados nacional e internacional, a la fecha no son conocidos en muchos lugares de nuestro país. Su cultivo en la mayoría de los casos es en huertos familiares y el hábito de consumo en la población nacional es reducido. Por otra parte, los estudios relacionados con los costos de producción, canales de distribución, mercados, conservación e industrialización son limitados.

Las pitayas son frutos provenientes de cactáceas cuya principal característica es que sus tallos o cladodios, abren sus estomas sólo por las noches, lo cual constituye una adaptación fisiológica para evitar la pérdida de agua por transpiración durante el día, cuando las temperaturas son elevadas. Lo anterior brinda una concentración de fitoquímicos importante y es utilizada en las regiones de producción para elaborar diversos tipos de productos.

La vida útil de los alimentos se puede describir como el periodo después del cual no se mantiene la calidad esperada por el consumidor final, esto quiere decir que no satisface sus expectativas. Las características principales de calidad en los alimentos son: sabor, textura, apariencia, inocuidad, valores nutrimentales y funcionalidad. Además debe contar con 4 tipos de estabilidad: microbiológica,

química, física y sensorial. En el momento en que algún parámetro dentro de estos aspectos se considera inaceptable, el producto ha llegado al final de su vida útil.

La estimación de la vida útil de un alimento se puede hacer en base a tres tipos de determinaciones: determinación directa (condiciones normales), métodos acelerados y mediante una cinética de reacciones. (Anzueto, 2014)

La mayoría de los métodos acelerados se basan en el incremento que los procesos de deterioro tienen a temperaturas de almacenaje mayores que las condiciones normales, y exigen un efectivo diseño del estudio, por ejemplo: parámetros de control, forma y frecuencia de medición, cantidad de muestras, condiciones, así como tiempo de evaluación. Entre más rápido se induzca el deterioro (más alejado de condiciones normales) la confiabilidad en la estimación de vida útil puede ser menor y no siempre puede aplicarse a todo tipo de productos.

Cuando se aplican ciertos principios de cinética en reacciones que tienen relación con la temperatura, las pérdida de los atributos de calidad se describe mediante la ayuda de modelos matemáticos, que son de gran ayuda para determinar la vida útil.

Básicamente, la responsabilidad del establecimiento de la caducidad recae en el elaborador o envasador. Mientras que la idea de desarrollar un producto nuevo o de mejorar los existentes puede nacer de la propia industria alimentaria. Hoy en día, casi sin excepción la mayoría de las cadenas de distribución evalúan independientemente la caducidad de los alimentos. (Man, 2004)

1.1 Justificación

En la actualidad el tiempo que las personas tienen para preparar alimentos generalmente es poco, es por eso que se busca producir alimentos en presentaciones o con características de fácil y rápido consumo, y a su vez asegurando la calidad e inocuidad del producto. Esto es posible gracias al desarrollo de nuevas tecnologías alimentarias, modificaciones e innovaciones en los procesos de producción, aumentando así la calidad en los productos y modificando el tiempo durante el cual el alimento se conserva apto para el consumo humano.

Es por eso, de vital importancia que los productos cuenten con fecha de vida útil o de anaquel, para cuya determinación se requiere tener un buen nivel de conocimiento del producto, además para la estimación se requiere de la utilización de modelos estadísticos o matemáticos como se llevará a cabo en este trabajo de investigación.

Es por eso que se llevaron a cabo cálculos para determinar el factor Q10 en base a determinaciones químicas de sustancias antioxidantes en un concentrado de fruto (para satisfacer demandas en mercado) hecho a base de pitaya (*Pachicercus grandis*), ya que es una alternativa para el desarrollo económico de la región centro del país, debido a que las plantaciones comerciales, que pudieran llegar a establecerse de este cultivo, pudieran generar nuevas fuentes de empleo y proporcionar valor agregado a los terrenos. Actualmente el producto en fresco tiene buena aceptación y alcanza buen precio en los mercados nacionales y de exportación. (Alejandro Lezama Escobedo, s.f.), pudiendo alcanzar el producto propuesto un éxito comercial.

1.2 Hipótesis

El comportamiento de fenoles, flavonoides, betaxantinas y betacianinas en concentrado de pitaya a diferentes temperaturas por un período de 180 minutos, permiten establecer la vida útil del concentrado de fruto.

1.3 Objetivo general

Determinar mediante un análisis numérico el factor Q para calcular la vida útil de un concentrado de fruto, a partir de los atributos de calidad antioxidante (fenoles, flavonoides, betaxantinas y betacianinas) bajo diferentes condiciones de almacenamiento.

1.4 Objetivos específicos

- Establecer tres temperaturas de almacenamiento para un concentrado de fruto.
- Establecer los tiempos de evaluación antioxidante en el concentrado.
- Evaluar fenoles, flavonoides, betaxantinas y betacianinas cada 30 minutos por un período de 3 horas en el concentrado almacenado a 11.3, 21.3 y 31.3 °C.
- Obtener gráficas de tiempo contra atributo de calidad.
- Generar líneas de tendencia y clasificación de orden de gráficos.
- Linealizar datos y graficar.
- Calcular del efecto de la temperatura en función del cambio de los atributos de calidad del concentrado de fruto.
- Determinar el factor Q para el concentrado de fruto.
- Determinar el atributo que determina el deterioro del concentrado.
- Calcular la velocidad de deterioro del concentrado de fruto.
- Ofrecer a los productores o procesadores una fecha en la que puedan comercializar con seguridad el producto alimenticio, asegurar la calidad e inocuidad del producto y así evitar mermas
- Permitir al consumidor conocer el tiempo que dispone para almacenar el producto en su hogar antes de su deterioro.

Capítulo II

2. Marco Teórico

2.1 Tecnología de alimentos

Los alimentos proceden de la naturaleza, son sustancias que se consumen inalteradas o elaboradas debido a su contenido en nutrientes, aunque en ocasiones también por su especial sabor. (Baltes, 2007)

El estudio de la ingeniería de los procesos alimentarios es un intento de analizar toda clase de fenómenos físicos, agrupándolos en un pequeño número de operaciones. Las técnicas de procesado de los alimentos pueden parecer extremadamente diversas y complejas, pero un análisis cuidadoso muestra que se componen de un reducido número de operaciones básicas. (Calvo Rebollar & Sevillano Calvo, 1998)

Los principios que gobiernan los aspectos de la ingeniería de alimentos son aquellos en que los ingenieros han sido educados para analizar, sintetizar, diseñar, optimizar y operar sistemas complejos que manipulen masa y energía para transformar los materiales y energía en formas utilizables. Con un conocimiento claro de los principios básicos ingenieriles del procesado de alimentos es posible desarrollar nuevos procesos y modificar los ya existentes. (Ibarz Ribas, et al., 2000)

2.1.2 La industria alimentaria

Las industrias procesadoras de alimentos incluyen una serie de actividades relacionadas con la manipulación, transformación y estabilización de materias primas de origen vegetal y animal. El diseño de cualquier proceso industrial en el que intervenga un producto alimentario tiene que contemplar la variabilidad de las características de las materias primas, su posible alteración debido a las acciones físicas o químicas al que sea sometido. (Hermida Bun, 2000)

Para competir en el mercado, las compañías alimentarias tienen que producir alimentos que cumplan las exigencias de los consumidores. La gestión de la calidad del producto por parte de la Industria alimentaria es de una importancia en alza. Para conseguir la calidad deseada del producto final, se deben aplicar los métodos analíticos a lo largo de la totalidad de la cadena de suministro alimentario. (S. Nielsen , 2009)

Como se menciona en el libro “Los Retos Actuales de la Industria Alimentaria”, la innovación en la industria de la alimentación actúa sobre todos los pasos de la cadena de producción: la obtención de materias primas, transporte y almacenamiento, formulación, producción, envasado y distribución de producto terminado. Las nuevas tecnologías relacionadas con el mundo de la alimentación vienen propiciadas por los cambios que está sufriendo nuestro estilo de vida. Esto ha sido posible gracias al desarrollo de nuevos sistemas, técnicas y materiales. (Albisu Aguado, et al., 2011)

2.2 Concentrado de fruto

Los concentrados de frutos tienen gran importancia en la industria alimentaria como lo mencionan Mark Van Dijk, Sander Dubbelman y Peter Bongers en su artículo “Plantwide Control of Fruit Concentrate Production”, ya que son un ingrediente esencial en muchos productos del corporativo Unilever. En esta empresa se ha diseñado un nuevo proceso continuo que involucra un decantador, un evaporador y un proceso de recombinación para asegurar la mejor calidad del producto y la mayor capacidad se establece un procedimiento para la estructura de control en toda la planta que ha sido aplicado e implementado satisfactoria mente en una planta procesadora de la compañía. (Van Dijk, et al., 2011)

Resultados de artículos publicados en “International Journal of Food Microbiology” hacen mención a características muy importantes de los concentrados de frutos, donde aseguran que la optimización y el uso de concentrados de naranja, mango, cereza y plátano permitieron obtener mayores rendimientos de etanol, brindando

así, además actividad antioxidante y siendo aceptados sensorialmente por panelistas entrenados. Por lo tanto el empleo de concentrados de fruto es una alternativa para mejorar las propiedades organolépticas y funcionales en productos fermentados. (Coelho, et al., 2015)

Algunas de las características más importantes hacen referencia a que los concentrados de grosella negra inhiben el crecimiento de bacterias gram positivas como *Staphylococcus aureus*, mientras que los de baya de sauco muestran un ligero efecto estimulante. Las antocianinas purificadas obtenidas a partir de los extractos no presentaron influencia en el crecimiento microbiano, por lo que la inhibición puede ser atribuida a otros fitoquímicos presentes en los concentrados, tal como se demuestra en estudios científicos publicados en “Food Control”. (Werlein, et al., 2005)

2.3 Cactáceas

Las cactáceas se encuentran principalmente en zonas áridas y semiáridas, México se caracteriza por tener amplia variedad de estas especies y su uso comercial se enfoca en producir jugos, concentrados, postres, jarabes, mermeladas y deshidratados, aunque su principal distribución es como planta ornamental. Lamentablemente las acciones que los seres humanos han tomado en contra de este tipo de la flora, ha provocado que las cactáceas disminuyan considerablemente, entre dichas acciones se puede mencionar principalmente destrucciones por construcción de viviendas, saqueo ilegal e introducción de animales a sus hábitat. (Meza Rangel, et al., 2014)

Desde tiempos remotos las cactáceas han sido consideradas como plantas de suma atracción ya que tienen tallos gruesos y carnosos, las hojas por lo general se transforman en espigas rígidas, sus flores son de colores y formas muy agradables a la vista, aunque por lo general su duración es de pocos días, ofrecen frutos ricos y jugosos que sirven como alimento para humanos y fauna silvestre; además tienen la capacidad de almacenar abundantes cantidades de agua. (Salas Cruz , 2014)

Dentro de las cactáceas existen alrededor de 35 especies que tiene potencial como cultivo para obtención de frutos, vegetales o forraje. Las cactáceas comestibles se pueden clasificar en tres tipos: las tunas, las pitayas (trepadoras) y las pereskias (columnares). (Esquivel, 2004)

2.4 Pitaya

Las pitayas se pueden considerar como un alimento funcional ya que protege a quien lo consume de enfermedades crónicas, debido a su elevada capacidad para reducir la propagación de radicales libres en el organismo, por su contenido de fenoles totales y ácido ascórbico La pitaya, generalmente se consume en fresco o se utiliza para la preparación de aguas frescas, helados o nieves; se han elaborado mermeladas, licores, jarabe, jugos concentrados y polvos solubles, colorantes naturales, utilizándola como materia prima esencial. (Sánchez López, et al., 2012)

Los frutos de pitaya (*Stenocereus spp*) contienen betalaínas y compuestos fenólicos que no han sido completamente caracterizados, los datos finales de un estudio concluyen que el contenido de betaxantinas fue mayor que el de betacianinas en un rango de 17.70 a 22.05 microgramos por gramo de muestra seca. El contenido de fenoles estuvo influenciado por el ecotipo; así debido a su composición fotoquímica, este fruto puede ser una buena fuente de antioxidantes. (García Cruz, et al., 2017)

Pachycereus grandis es una especie nativa de México que posee una amplia variación morfológica y que tiene usos múltiples, principalmente por el consumo del fruto, además del óptimo aprovechamiento de los tallos para cercas vivas, control de erosión y como combustible. La presencia de fenoles en el fruto y su alta actividad antioxidante lo hace una fuente importante de productos funcionales. (Orozco, 2009)

2.5 Atributos de calidad en alimentos

Los principales parámetros y atributos de calidad de frutos y vegetales después de ser cultivados son determinados por los consumidores o procesadores; Existen factores que influyen en la senescencia y permiten controlarla para mantener la frescura, el color y la firmeza entre otros importantes atributos e tipo sensorial que se reflejan directamente en la calidad del producto así como en su aceptación. Algunos métodos y tecnologías de control que juegan un papel en la calidad son los envases especiales, así como atmósferas controladas, reguladores de gases y materiales empleados para el transporte. (Brasil & Wasim Siddiqui, 2018)

La calidad de consumo en alimentos es una combinación de atributos que provocan la satisfacción del consumidor. En la elección inicial, la apariencia y frescura son los parámetros más importantes. Últimamente han ocurrido cambios en el comportamiento de los consumidores, que han comenzado a ver a los alimentos no solo como fuente de energía y nutrientes, sino como fuente de ciertos compuestos minoritarios que poseen acciones benéficas demostradas en el organismo previniendo o aliviando los efectos de algunas enfermedades crónicas como afecciones cardiovasculares y algunos tipos de cáncer. (Silveria, et al., 2007)

2.6 Antioxidantes

Son sustancias presentes de forma natural o adicionada intencionalmente a las grasas o a los alimentos para retrasar la aparición de los fenómenos de oxidación manteniendo intactas sus características sensoriales. Los antioxidantes que se adicionan a los alimentos deben cumplir con una serie de requisitos: no provocar efectos fisiológicos negativos, no producir colores, olores, ni sabores anómalos; deben ser efectivos a bajas temperaturas, liposolubles y resistentes a los tratamientos a los que se vaya a someter al alimento; además deben ser fáciles de obtener, activos a bajas concentraciones y económicos. (Ma. Isabel Cambero, 1998)

Un antioxidante es una sustancia que forma parte de los alimentos de consumo cotidiano y que puede prevenir los efectos adversos de especies reactivas sobre las funciones fisiológicas normales de los humanos. Las propiedades antioxidantes no sólo deben estudiarse por sus interacciones químico-biológicas, sino por su función en el deterioro oxidativo que afecta a los alimentos. (Coronado, et al., 2015)

Los antioxidantes retrasan el proceso de envejecimiento combatiendo la degeneración y muerte de las células que provocan los radicales libres. La incapacidad del cuerpo humano para neutralizar a los radicales libres a los que está expuesto diariamente, obliga al hombre a recurrir a alimentos con las propiedades antioxidantes con capacidad de neutralizarlos. (Gutiérrez Závala , et al., 2007)

2.7 Compuestos fenólicos

Los compuestos fenólicos son producidos en las plantas como metabolitos secundarios, generalmente involucrados en la adaptación medioambiental bajo condiciones de estrés y se relacionan con el sabor, color, cantidad de espuma y propiedades sensoriales de la cerveza. (Preddy, 2015)

Los compuestos fenólicos constituyen uno de los grupos de micronutrientes presentes en el reino vegetal, que forman parte de la dieta humana. Dentro de la clasificación general se encuentran los fenoles, ácidos fenólicos y flavonoides.

Existe un gran interés de estudiarlos debido a sus propiedades antioxidantes, su participación en procesos sensoriales de los alimentos naturales y procesados, además de sus aplicaciones benéficas para la salud humana, tales como el tratamiento y prevención del cáncer, enfermedades cardiovasculares y otras patologías de carácter inflamatorio. (Porrás, et al., 2009)

En un estudio publicado por la revista Colombiana de Química, evalúan seis pulpas de frutas tropicales de origen colombiano. Gracias a la descripción nutricional de las frutas se ha encontrado que estas contienen diversas clases de compuestos entre los que se encuentran antioxidantes como: ácidos fenólicos, antocianinas,

carotenoides, flavonoides, vitamina C y vitamina E, por consiguiente la inclusión de una mayor proporción de estos productos alimenticios en la dieta permite la prevención enfermedades crónicas. (Moreno, et al., 2014)

2.7.1 Fenoles

Los compuestos fenólicos son moléculas que tienen uno o más grupos hidroxilo unidos a un anillo aromático, se clasifican en diferentes tipos de grupos funcionales. Se consideran importantes antioxidantes en la dieta, se encuentran presentes en frutas, hortalizas, raíces y cereales. Los fenoles son responsables del color y las características sensoriales de las plantas y alimentos, por ejemplo, la astringencia de frutas y hortalizas. (Peñarrieta, et al., 2014)

En los seres humanos, los fenoles vegetales consumidos a través de la dieta se consideran cada vez más como agentes eficaces de protección contra la patogénesis del envejecimiento y muchas enfermedades degenerativas, tales como enfermedades cardiovasculares y cánceres. Su potencial antioxidante es dependiente del número y de la posición de los grupos hidroxilos y de su conjugación, así como de la presencia de electrones donadores en el anillo estructural. (Peña & Restrepo, 2013)

2.7.2 Flavonoides

Los flavonoides son compuestos fenólicos constituyentes de la parte no energética de la dieta humana. Se encuentran en vegetales, semillas, frutas y en bebidas como vino y cerveza. Se han identificado más de 5.000 flavonoides diferentes. En un principio, fueron consideradas sustancias sin acción beneficiosa para la salud humana, pero más tarde se demostraron múltiples efectos positivos debido a su acción antioxidante y eliminadora de radicales libres. (Martínez Flores, et al., 2002)

Estudios realizados por la OMS han arrojado cifras interesantes con las que se puede concluir que gracias al consumo de flavonoides, las tasas de mortalidad por

enfermedades cardiovasculares en Francia eran mucho menores que en otros países industrializados como EE.UU., y la llamada “paradoja francesa” se atribuye al alto consumo de vino tinto de los habitantes de ese país, producto que tiene un elevado contenido de polifenoles y flavonoides. Otras fuentes naturales de estos compuestos son el té, ciertas verduras (cebolla, brócoli, apio, repollo, zanahoria, etc) y frutas (manzana, naranja, etc.). (Bedascarrasbure, et al., 2004)

2.8 Betalaínas

Las betalaínas son un pequeño grupo de pigmentos alcaloides, restringidas a ciertas familias de las *Caryophyllales*, tienen propiedades ópticas comparables y comparten localización histológica similar en los tejidos vegetales con aquellas más abundantes denominadas antocianinas. La capacidad de las betalaínas de mantener un color rojo independientemente de los cambios de pH vacuolar y su fuerte asociación con la actividad ATP-asa en vacuola sugiere que pueden conferir beneficios de adaptación que no presentan aquellas especies vegetales que producen antocianinas. (Gagandeep & Gould, 2015)

La betalaínas son pigmentos hidrosolubles que contienen nitrógeno y se dividen en betacianinas y betaxantinas. Las tonalidades rojas y violetas resultan de diferentes patrones de sustitución en las betacianinas, mientras que diferentes aminoácidos o cadenas de aminas laterales determinan el color de las betaxantinas. Ambos son una alternativa para los colorantes sintéticos ya que tienen una estabilidad en un rango amplio de pH y un alto coeficiente de extinción molar, así como la ventaja de no ser alergénicos ni tóxicos. (Esquivel, 2016)

El uso de los colorantes sintéticos en la industria alimentaria es cada vez más estricto debido a la regulación para su uso, por los problemas de toxicidad, reacciones de intolerancia y alérgicas. Lo anterior ha favorecido el interés para obtener colorantes de fuentes naturales. Entre los pigmentos naturales de interés para la industria alimentaria, están las betalaínas, que actualmente se reconocen

como nutracéuticos ya que se ha evaluado su actividad antioxidante y su beneficio potencial a la salud. (Soriano Santos , et al., 2007)

2.8.1 Betaxantinas

Los pigmentos naturales que se encuentran en la pulpa y en la cáscara del fruto en algunas especies y variedades de betaxantinas responsables del color amarillo-anaranjado, los cuales muestran una importante actividad antioxidante y un uso potencial como pigmentos naturales. (Ramirez Ramos, et al., 2015)

2.8.2 Betacianinas

Las betacianinas son colorantes naturales empleados en la industria alimentaria; se encuentran en el betabel, el amaranto, la tuna y la pitaya roja, haciéndolos potencialmente alimentos funcionales y son responsables del color rojo-purpura. Actualmente estos pigmentos naturales derivados de plantas están ganando popularidad para emplearse como colorantes en la industria alimentaria; el aumento de interés por parte de los consumidores en el aspecto de seguridad y nutrición ha incrementado la demanda de pigmentos naturales como una alternativa en la producción de alimentos. (Gengatharan, et al., 2015)

2.9 Importancia de la caducidad

La caducidad es un requisito importante de todos los alimentos elaborados y procesados. Cada alimento tiene y debe reconocer, una caducidad microbiológica, una caducidad química y una caducidad organoléptica, ya que todos los alimentos se estropean, aunque a diferente velocidad. Últimamente esta tiende a reflejar esos tres aspectos diferentes, en las condiciones ideales de almacenamiento. Debido a esto, el estudio de la caducidad de los alimentos sólo se puede hacer utilizando un enfoque multidisciplinar. (Man, 2004)

El interés académico a los productos alimenticios generados con tecnologías innovadoras se ha incrementado, así como la atención a los factores que puedan explicar la aceptación de éstos por parte de los consumidores o el escepticismo en

relación a estas tecnologías. Una de las innovaciones en cuanto a tecnología de alimentos que se considera conduce a la sustentabilidad, es la que se enfoca en la extensión de la vida de anaquel. (Cavaliere & Ventura, 2018)

Los estudios de vida de anaquel pueden proveer información importante tanto para la industria alimentaria como para los consumidores a fin de asegurar un producto de alta calidad durante el periodo de almacenamiento. En general, los estudios de vida de anaquel prolongados o en tiempo real no cumplen con los requerimientos de rapidez, así los estudios acelerados son una alternativa que ha sido empleada, mediante reacciones cinéticas a partir de simulaciones, en donde los factores ambientales determinarán el orden de reacción que permitirá mediante el modelo de Arrhenius establecer parámetros de relevancia en menor tiempo. (Phimolsiripol & Suppakul, 2016)

2.10 Deterioro de alimentos

Los alimentos sufren deterioro ocasionado por la acción de agentes biológicos (microorganismos, enzimas), físicos (luz, aire) y químicos (oxidación). Para retrasar el deterioro natural del alimento es necesario emplear métodos de conservación, éstos controlan las variables intrínsecas y extrínsecas de un alimento, prolongando la vida útil de estos, brindando inocuidad, facilitando el transporte, el procesamiento y posibilitando el intercambio comercial. Para lograr lo descrito anteriormente se emplean tratamientos de tipo físico, químico y métodos emergentes. (Castro Ríos, 2010)

La estabilidad de un producto y los factores que la afectan (composición, procesamiento, envase, humedad, temperatura) pueden conducir a la optimización de su vida de anaquel y las predicciones relacionadas. Existen cuatro tipos de estabilidad: microbiológica, física, química y sensorial. En el momento en que algún parámetro dentro de estos aspectos se considera inaceptable, el producto ha llegado al final de su vida útil. (Anzueto, 2012)

En un estudio de investigación se empleó una cinética de huella digital como monitor de la vida de anaquel para los cambios en un jugo de naranja de bajo pH, pasteurizado y estable. Las muestras fueron almacenadas para evaluar en función del tiempo a 4 diferentes temperaturas (20, 28, 35 y 42°C). Para obtener los cambios químicos e identificarlos durante la vida de anaquel en el contexto de una evaluación de vida de anaquel acelerada. Se encontró una cinética dependiente de la temperatura y el tiempo dentro del rango de temperaturas evaluadas. (Wibowo, et al., 2015)

2.11 Vida de anaquel

Existen procesos responsables del deterioro que dependen del producto alimentario o bien del medio ambiente; los índices de calidad permiten determinar el valor crítico de cada índice para establecer el fin de la vida de anaquel, la cual puede ser mejorada. (Torrieri, 2016)

La vida de anaquel puede ser definida generalmente como el período de tiempo seguido a la cosecha, producción o manufactura, sobre el cual el alimento mantiene la calidad requerida indica que dicho nivel comestible aceptable desde el punto de vista de seguridad y sensorial, depende de cuatro principales: formulación, procesamiento, empaque y condiciones de almacenamiento. (Cordón Orellana , 2007)

El objetivo de este método es almacenar productos, bajo condiciones de abuso, examinar el producto periódicamente hasta que ocurra el final de la vida de anaquel, y entonces usar estos resultados para proyectarlos bajo condiciones de verdadera distribución. Uno de los modelos más utilizados en la determinación de la vida de anaquel de un producto es el Modelo de Arrhenius. (Chica Cardona & Osorio Saldarriaga , 2003)

Una prueba de vida de anaquel acelerada fue llevada a cabo para estimar el tiempo de vida útil de aceitunas en función a la firmeza, color y pH. Se encontró una tendencia similar en la evolución de los atributos con respecto a los cambios de

temperatura. Las representaciones gráficas de la vida de anaquel esperada en función de la temperatura muestran una degradación de firmeza, color y pH; basándose en ellas los productores pueden deducir que la exposición a altas temperaturas reduce de una manera remarcable la vida de anaquel. (García García , et al., 2008)

2.12 Cinéticas de deterioro

La determinación de vida útil es un elemento crucial en el desarrollo de nuevos alimentos dada su implicación en la seguridad alimentaria y calidad. Entre los métodos de evaluación, se destaca el modelamiento cinético. (Saavedra, et al., 2012)

Es necesario conocer las diferentes reacciones que causan degradación de los alimentos para desarrollar procedimientos específicos para su vida útil. La mayor parte de los datos de vida útil de sistemas biológicos tales como alimentos para el cambio de una característica de calidad, basados en alguna reacción química o crecimiento bacteriano, siguen un modelo de orden cero o primer orden, dependiendo de la reacción involucrada. (Casp & Abril, 1999)

Para poder describir como la temperatura influye en el deterioro de los alimentos se deben conocer parámetros cinéticos como la constante de reacción y la energía de activación. Existen dos métodos para encontrar ambos parámetros cinéticos, regresión lineal y regresión no lineal. (Salinas , et al., 2016)

De acuerdo a Carnicero (2012) es importante para realizar estudios de vida útil conocer la cinética de los procesos de degradación. Dichos estudios, se basan en la teoría cinética, por la cual la velocidad de modificación de una propiedad o atributo del alimento se expresa:

$$v = \pm \frac{dA}{dt} = k (A_0)^n$$

2.13 Métodos para la estimación de la vida útil

El tiempo de vida útil se puede estimar mediante varios métodos: pueden tomarse valores reportados en la literatura especializada de alimentos similares y bajo condiciones similares al producto de nuestro interés; se pueden monitorear las quejas de los consumidores para orientar los posibles valores de vida útil; se pueden evaluar atributos de calidad del alimento que varían durante la vida útil en anaquel o mediante pruebas acelerada. (Centro de Investigación Tecnología Alimentaria , 2005)

En la práctica existen cinco principales formas de determinar la vida en anaquel de un producto, como: valores encontrados en la literatura, devolución en la distribución, prueba de distribución abusada, quejas de consumidores y prueba de vida en anaquel acelerada. (Cordón Orellana , 2007)

2.13.1 Estudios acelerados para la estimación de la vida útil.

Los estudios de vida útil acelerados, consisten en incubar el alimento bajo condiciones controladas y a diferentes temperaturas. Estas temperaturas deben ser mayores a las del almacenamiento y las de comercialización para permitir que las reacciones de deterioro se aceleren y se obtengan valores en períodos más cortos. (Rodríguez , 2004)

Uno de los modelos más utilizados en la determinación de la vida de anaquel de un producto es el Modelo de Arrhenius. La relación de tal modelo, es desarrollada teóricamente para reacciones químicas moleculares reversibles, ha sido experimentalmente aplicada a un número de reacciones químicas complejas y fenómenos físicos. Las reacciones de pérdida de calidad de los alimentos han mostrado que siguen un comportamiento de Arrhenius con la temperatura, dado por la siguiente ecuación, de acuerdo a (Chica Cardona & Osorio Saldarriaga , 2003)

$$K = K_0 \exp \frac{-E_a}{RT}$$

Existen reacciones importantes de pérdida de calidad en los alimentos que siguen una cinética de orden cero, primer orden y segundo orden. El número de moléculas que participan bajo la forma de reactivos, pero en términos simples podemos decir que el orden de reacción es el factor exponencial (n) que acompaña a la concentración. La mayoría de la información disponible ha sido simplificada para adaptar cinéticas de reacción de orden cero ($n=0$) o de primer orden ($n=1$) para situaciones complejas sin tratar de comprender los verdaderos mecanismos de reacción.

- **Orden cero ($n=0$):** Reacciones en general de pérdida de calidad de alimentos congelados. Ejemplos: Pardeamiento no enzimático y oxidación de lípidos.
- **Orden uno ($n=1$):** Pérdida de vitaminas, crecimiento y muerte microbiana. Pérdida de color por oxidación y de textura por el tratamiento térmico.
- **Orden dos ($n=2$):** Desarrollo/muerte microbiana, degradación de la vitamina C que depende de la concentración de sustancia y de la concentración de oxígeno en el alimento. (Monje , 2007)

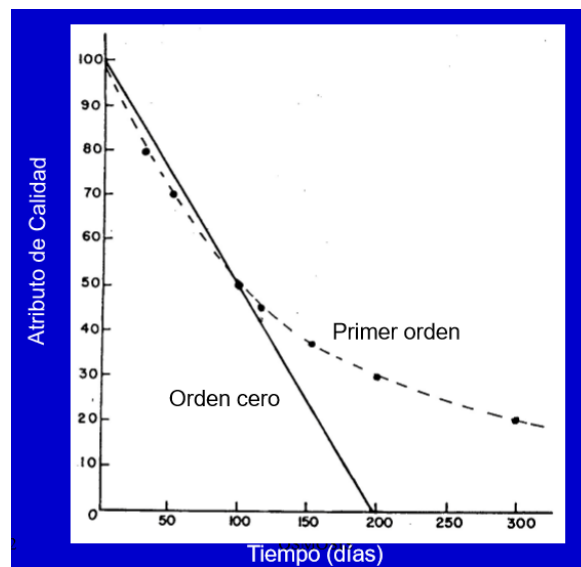


Figura 1. Cambio del atributo de calidad contra tiempo, en el efecto del orden de la reacción. (Anzueto, 2012)

2.14 Factor Q10

El factor de aceleración Q10 es un método usado con el fin de predecir el efecto de la temperatura sobre un alimento, este factor significa el número de veces que la velocidad de las reacciones se modifica cuando la temperatura aumenta 10°C. (Rondón, et al., 2004)

Existen varias maneras de expresar matemáticamente, la relación existente entre la temperatura y la velocidad de deterioro de un alimento. Por ejemplo, se tiene la expresión Q10:

$$Q10 = \frac{\text{Vida útil } (T+10)}{\text{Vida útil } T} = Q10 = \frac{T_s (T)}{T_s (T+10)}$$

El factor Q10 representa la razón obtenida por el aumento de la velocidad de las reacciones cuando la temperatura del sistema aumenta en 10 °C. Para reacciones enzimáticas un Q10 = 2 es frecuentemente encontrado. Esto indica que la velocidad enzimática se dobla para cada 10 °C de aumento en la temperatura, hasta que ocurra la desnaturalización o inactividad de la enzima por la energía calorífica. (Espinoza Atencia, 2018).

Para determinar el factor Q10 en este trabajo, se utilizó la siguiente fórmula:

$$b = \frac{\ln Q10}{10} \quad Q10 = e^b$$

Capítulo III

3. Materiales y Métodos

3.1 Ubicación del sitio experimental

Las determinaciones experimentales para la realización de este proyecto se llevaron a cabo en la Ciudad de Saltillo, Coahuila en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Las determinaciones se llevaron a cabo en el Laboratorio de Bioprocesos, el cual pertenece al Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos.

3.2 Metodología

El proceso se divide en dos etapas, la obtención del concentrado de pitaya que se describe en la figura 3.21. y el análisis de datos y cálculo de la vida útil del concentrado de fruto, que se explica posteriormente en la figura 3.2.2.

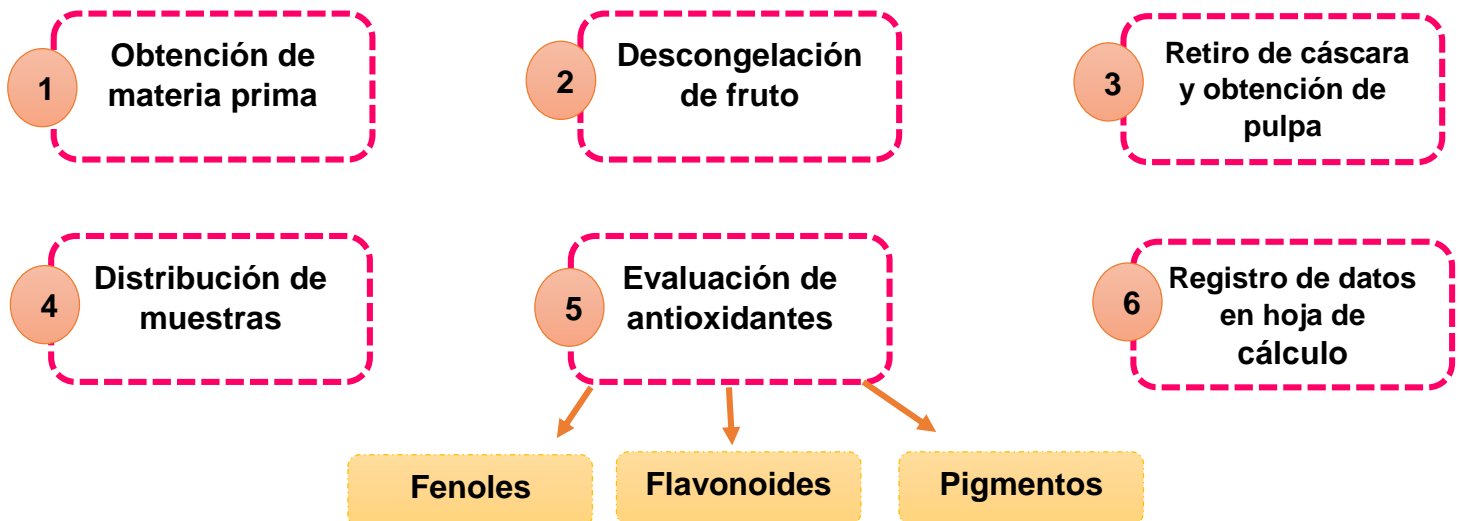


Figura 2. Proceso de obtención del concentrado de fruto y datos experimentales

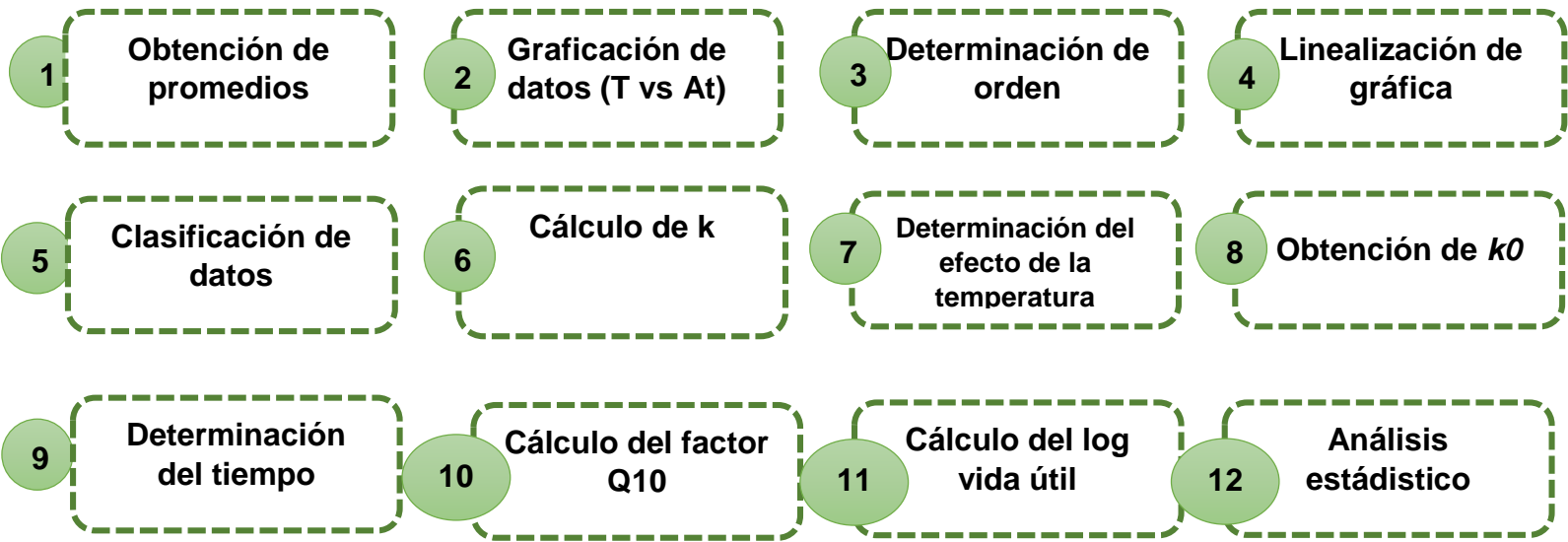


Figura 3. Proceso de análisis de datos y cálculo de la vida útil del concentrado de fruto

3.2.1 Descripción del diagrama de flujo del proceso de obtención del concentrado de fruto y datos experimentales

1) Obtención de materia prima

La pitaya roja (*Pachycereus grandis*) fue traída del municipio de Tepalcingo, Morelos transportado en una hielera de unicel y conservada en un congelador Torrey modelo CH25 a una temperatura de -18°C .

2) Descongelación de fruto

El proceso de descongelación se llevó a cabo por medio de refrigeración. Los frutos se descongelaron colocándolos en un refrigerador IEM (modelo RIC7U04) a una temperatura promedio de 10°C por 24 horas.

3) Retiro de cáscara y obtención de pulpa

Se retiró completamente la cáscara de todos los frutos y después se extrajo la pulpa y se colocó en un procesador de doble aspa (Nutribullet) y así se generó el concentrado por evaporación ya que el producto se colocó en recipientes metálicos.

4) Distribución de muestras

Las pruebas de vida acelerada se llevaron a cabo en una cámara bioclimática (marca Binder modelo KBF115-UL). Se colocaron 28 recipientes con concentrado de fruto a tres temperaturas diferentes (11.3, 21.3 y 31.3°C), tomando 4 contenedores a los 0, 30, 60, 90, 120, 150 y 180 minutos para evaluar en cada uno de ellos, la capacidad antioxidante así como el contenido de pigmentos y determinar posteriormente la velocidad de deterioro.

5) Evaluación de antioxidantes

La evaluación de antioxidantes se llevó a cabo mediante un Método espectrofotométrico en un equipo de modelo Genesys UV/VIS 10 (marca Thermo Electron Co).

- **Determinación de fenoles:** Se realizó mediante el método conocido como Folin-Ciocalteu a 760 nm, utilizando la ecuación obtenida de la curva de la calibración realizada con una solución estándar de ácido gálico.
- **Cuantificación de flavonoides:** Se obtuvo a partir de una curva de catequina, leyendo la absorbancia a 510 nm
- **Contenido de pigmentos:** Se realizó en un extracto metanólico obtenido a partir de los concentrados midiendo la absorbancia a 538 nm para betacianinas y 483 nm para betaxantinas, sustituyendo el valor obtenido en la siguiente ecuación:

$$B \text{ en } \frac{mg}{g} = \frac{A \times Fd \times PM \times V}{e \times P \times L}$$

Donde:

B = Contenido de Betacianinas o Betaxantinas

A = Absorbancia,

Fd = Factor de dilución empleado

PM = Peso molecular, 550 g/mol para Betanina y 308 g/mol para Indicaxantina

V = Volumen del extracto

e = Coeficiente de extinción molar, 60,000 L/mol*cm para Betanina y 48,000 L/mol*cm para Indicaxantina

L = Longitud de la celda (1 cm)

P = Peso de la muestra en gramos

6) Registro de datos en hoja de cálculo.

Se capturaron los datos en un libro de Excel, a las 3 diferentes temperaturas (11.3, 21.3 y 31.3 °C) obtenidos mediante las mediciones en el espectrofotómetro para cada uno de los atributos evaluados (fenoles, flavonoides, betaxantinas, betacianinas). Para cada uno de ellos, se realizaron 4 repeticiones.

3.2.2 Descripción del diagrama de flujo del proceso de análisis de datos y cálculo de la vida útil del concentrado de fruto

1) Obtención de promedios

Con los datos experimentales, se calculó un promedio de las 4 repeticiones realizadas, para cada una de las diferentes temperaturas y mediciones.

2) Graficación de datos

En base a los datos obtenidos experimentalmente, se graficó el tiempo de experimentación (0, 30, 60, 90, 120, 150, 180 minutos) vs mediciones de atributos de calidad (Fenoles, flavonoides, betaxantinas y betacianinas) a las 3 diferentes temperaturas (11.3, 21.3 y 31.3 °C) y se obtuvo la línea de tendencia, de la ecuación $y = m x + b$ y R^2 .

3) Clasificación de orden

Evaluando el comportamiento gráfico, la línea de tendencia obtenida y el coeficiente de correlación, se clasificó cada una de las gráficas por tipo de orden. Ya que existen tres, que se clasifican como: cero ($m=0$), uno ($m=1$) y dos ($m=2$).

4) Linealización de datos

En base al tipo de orden y su ecuación, se calcularon nuevos datos para generar una gráfica con un comportamiento lineal.

$$m=0 \quad A_o - A_t = k t$$

$$m=1 \quad \ln \frac{A_o}{A_t} = k t$$

$$m=2 \quad \frac{1}{A_t} - \frac{1}{A_o} = k t$$

5) Clasificación de datos

Se realizó una tabla donde se concentraron los resultados del tipo de orden de cada gráfico y se revisó en la literatura, la concentración mínima aceptable de para cada atributo de calidad.

6) Cálculo de k

Obtenidos los resultados linealizados, se pudo determinar k ($m=k$) para cada atributo de calidad a las diferentes temperaturas trabajadas.

7) Determinación del efecto de la temperatura

En base a la ecuación de Arrhenius se determinó el efecto de la temperatura, graficando \ln vs $1/T$, en base a lo cual se determinó la pendiente, logrando despejar la energía de activación (EA), de la ecuación que se muestra a continuación.

$$m = \frac{EA}{R}$$

$$EA = m * R$$

8) Obtención de k_0

Gracias a los cálculos obtenidos mediante el punto 7 es posible obtener los resultados de k_0 , para cada atributo de calidad, en base a la ecuación:

$$k_0 = e^b$$

9) Determinación del tiempo

Una vez definidos los tipos de orden, se calculó el tiempo en base a una ecuación específica, en este caso se recurrió a la de orden dos, ya que la pendiente obtenida y el comportamiento de las gráficas eran correspondientes al orden de reacción dos. Se realizó un despeje a la ecuación, que nos permitiría encontrar el tiempo.

$$\frac{\frac{1}{A_t} - \frac{1}{A_0}}{k} = t$$

Donde:

A_0 = Valor promedio del atributo de calidad al inicio del proceso.

A_t = Valor mínimo aceptable del atributo de calidad, consultado en la literatura.

10) Cálculo del factor Q10

El factor Q10 es calculado con los datos obtenidos en el punto 9, se determina el Ln del tiempo y se grafica contra la temperatura, obteniendo una gráfica lineal, de la cual se toma el dato de la ordenada al origen (b) para aplicarlo en la siguiente fórmula, hasta obtener el factor en cuestión.

$$b = \frac{\ln Q10}{10}$$

$$\ln Q10 = b$$

$$Q10 = e^b$$

Orden de reacción aparente	Función	Tiempo de vida útil
0	$A_0 - A_t$	$A_0 / (2k_0)$
1	$\ln (A_0 - A_t)$	$\ln 2 / k_1$
2	$1 / A_t - 1 / A_0$	$1 / (k_2 A_0)$
$m \neq 1$	$(1 / m - 1) (A_t^{1-m} - A_0^{1-m})$	$2^{m-1} - 1 / km(m-1) / A_0^{1-m}$

Tabla 1: Ecuaciones para calcular la vida útil de acuerdo al orden de reacción

Se realizó una tabla concentrando los datos de las temperaturas trabajadas, los atributos de calidad y su respectivo valor del efecto de la temperatura calculado en el punto 7. Se aplicó la fórmula del Ln Q10, obteniendo los datos finales.

$$\ln Q_{10} = \frac{EA}{R} \left[\frac{10}{T(T+10)} \right]$$

$$Q_{10} = e^{\text{Valor obtenido de } Q_{10}}$$

11) Cálculo del log vida útil

El cálculo final de la vida útil, se generó en base a la determinación del logaritmo de los datos del tiempo, graficados versus las temperaturas evaluadas. Partiendo de aquí, se generó una gráfica que nos permite conocer el tiempo de vida útil del concentrado a diferentes temperaturas, según se requiera.

12) Análisis estadístico

Se realizó un análisis de ANOVA de una vía, utilizando el software PAST con un índice de confianza del 95%. Las letras diferentes en las gráficas, indican que hay diferencias significativas entre los valores del factor Q10. Mientras que, las letras iguales indican que los valores del factor Q10 son estadísticamente iguales, es decir que el atributo de calidad evaluado permanece sin cambio a lo largo del tiempo evaluado.

Capítulo IV

4. Resultados y Discusiones

4.1 Datos experimentales de atributos de calidad mediante el uso de espectrofotómetro.

Los resultados de los atributos de calidad del concentrado de fruto en cámara bioclimática a las temperaturas: 11.3, 21.3 y 31.3 °C, se muestran en las siguientes tablas. Con los datos experimentales, se calculó el promedio de las 4 repeticiones realizadas, para cada una de las diferentes temperaturas y mediciones.

- **Fenoles:**

Contenido de fenoles en mg/g calculados a partir de la ecuación: $y=15,858x + 0,3282$ en donde y es la Absorbancia a 760 nm; R^2 de 0,9605.

FENOLES

	11.3 °C	21.3 °C	31.3 °C
TIEMPO	Promedio	Promedio	Promedio
0	0.93	0.03	0.005
30	0.82	0.06	0.005
60	0.7	0.07	0.005
90	0.82	0.06	0.005
120	0.59	0.11	0,006
150	0.69	0.17	0.004
180	0.29	0.05	0.013

Tabla 2: Promedios de datos experimentales de fenoles.

- **Flavonoides:**

Contenido de flavonoides en mg/ml calculados a partir de la ecuación: $y=4,3066x + 0,0265$ en donde y es la Absorbancia a 510 nm, con una R^2 de 0,9739

FLAVONOIDES

	11.3 °C	21.3 °C	31.3 °C
TIEMPO	Promedio	Promedio	Promedio
0	2.675	0.63	0.05
30	1.24	0.48	0.06
60	0.8875	0.87	0.05
90	1.319	0.54	0.02
120	1.415	0.47	0.04
150	0.9825	0.68	0.05
180	1.6725	0.62	0.04

Tabla 3: Promedios de datos experimentales de flavonoides.

- **Betaxantinas:**

Contenido de betacianinas en mg/g calculado a partir de la ecuación: $\text{mg/g} = (\text{Absorbancia a } 538 \text{ nm} * 550 * \text{volumen de extracto}) / (60000 * \text{peso de muestra} * \text{longitud de celda})$, la longitud de la celda es de 1 cm.

BETAXANTINAS

	11.3 °C	21.3 °C	31.3 °C
TIEMPO	Promedio	Promedio	Promedio
0	0.59925	0.6145	0.0942
30	0.357	0.6555	0.0792
60	0.3015	0.4525	0.1087
90	0.272	0.9162	0.0964
120	0.33975	0.5265	0.1324
150	0.29525	0.6745	0.1122
180	0.35575	0.5017	0.1416

Tabla 4: Promedios de datos experimentales de betaxantinas.

- **Betacianinas:**

Contenido de betacianinas en mg/g calculado a partir de la ecuación: $\text{mg/g} = (\text{Absorbancia a } 538 \text{ nm} * 550 * \text{volumen de extracto}) / (60000 * \text{peso de muestra} * \text{longitud de celda})$, la longitud de la celda es de 1 cm.

BETACIANINAS			
	11.3 °C	21.3 °C	31.3 °C
TIEMPO	Promedio	Promedio	Promedio
0	1.7245	0.3825	0.089
30	1.3697	0.334	0.101
60	0.9262	0.25	0.071
90	1.6155	0.4907	0.082
120	1.3872	0.2752	0.1
150	1.2842	0.3415	0.111
180	1.4242	0.258	0.114

Tabla 5: Promedios de datos experimentales de betaxantinas.

4.2 Graficación de tiempo vs cálculo de atributos de calidad.

Con los datos obtenidos experimentalmente de fenoles, flavonoides, betaxantinas y betacianinas mediante el espectrofotómetro, se realizó una gráfica de estos valores en función del tiempo de muestreo, a los minutos 0, 30, 60, 90, 120, 150 y 180 y a las condiciones de temperatura trabajadas de 11.3, 21.3 y 31.3 °C, obteniéndose la línea de tendencia y la ecuación $y = m x + b$ y R^2 .

Evaluando el comportamiento gráfico, la línea de tendencia obtenida y el coeficiente de correlación que más se acerca a 1, se clasificó cada una de las gráficas por tipo de orden, concluyendo que son de orden dos, basadas en la ecuación:

$$\frac{1}{A_t} - \frac{1}{A_o} = k t$$

Se generó una nueva gráfica con valores de tiempo vs 1/At, buscando obtener una gráfica linealizada. Los valores se describen en las siguientes tablas, por tipo de atributo de calidad, además del comportamiento gráfico linealizado para cada uno de ellos.

FENOLES						
Tiempo (min)	11.3 °C		21.3 °C		31.3 °C	
	At	1/At	At	1/At	At	1/At
0	0.93	1.07527	0.03	33.3333	0.005	200
30	0.82	1.21951	0.06	16.6667	0.005	200
60	0.7	1.42857	0.07	14.2857	0.005	200
90	0.82	1.21951	0.06	16.6667	0.005	200
120	0.59	1.69492	0.11	9.09091	0.006	166.667
150	0.69	1.44928	0.17	5.88235	0.004	250
180	0.29	3.44828	0.05	20	0.013	76.9231

Tabla 6: Datos experimentales de fenoles a los diferentes tiempos y temperaturas evaluadas.

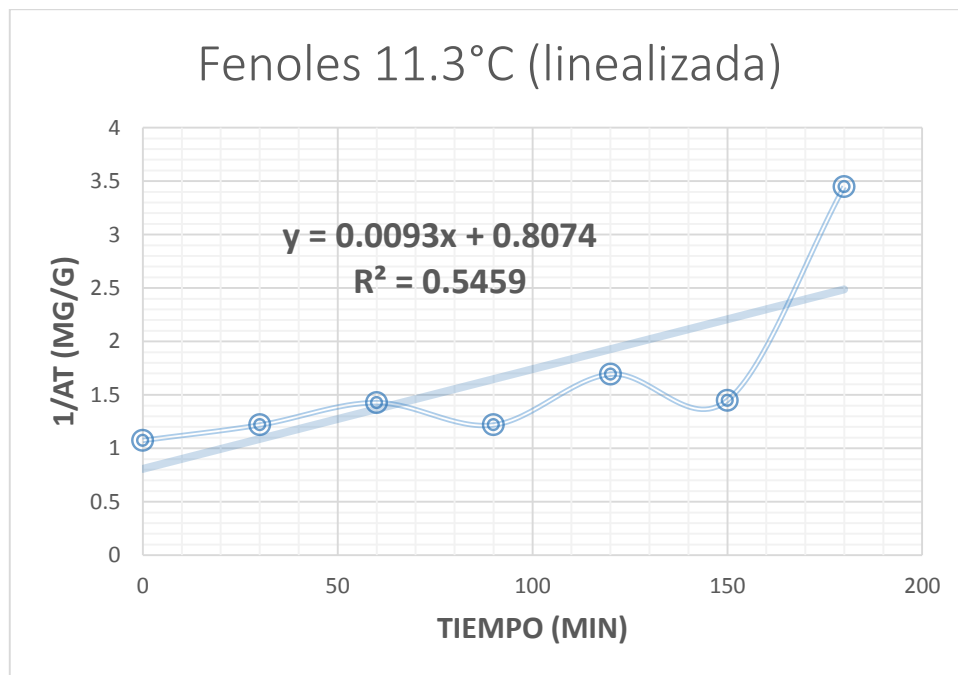


Figura 4: Gráfica de fenoles a 11.3 °C, evaluando tiempo vs 1/At

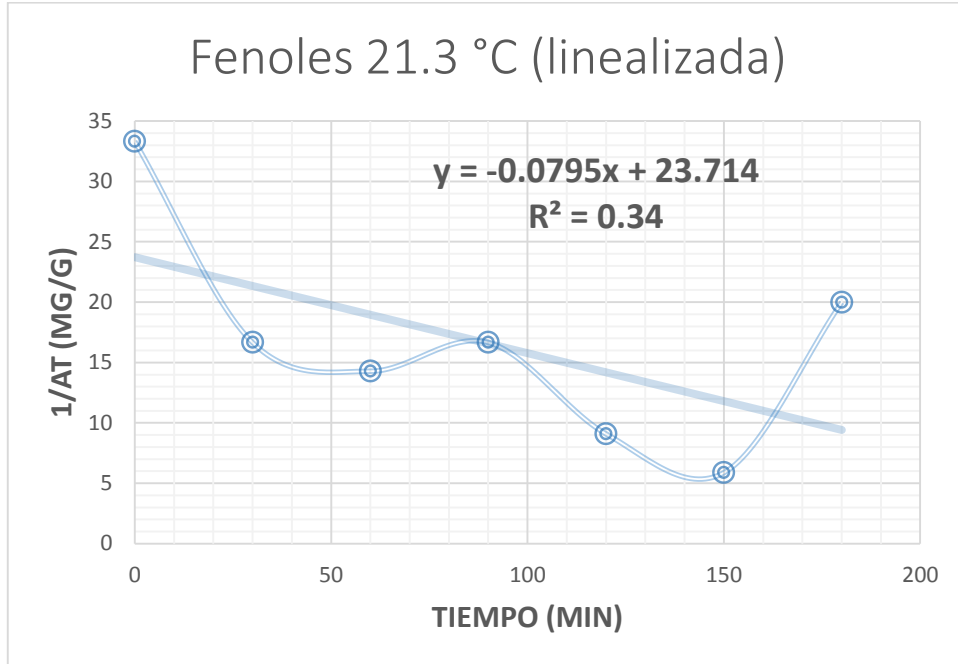


Figura 5: Grafica de fenoles a 21.3 °C, evaluando tiempo vs 1/At

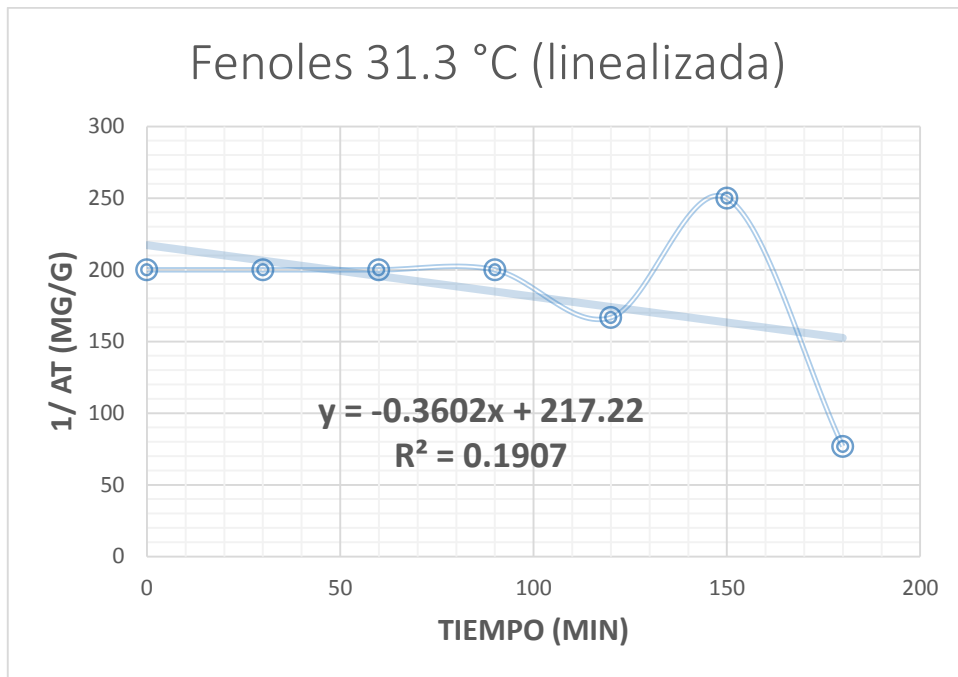


Figura 6: Grafica de fenoles a 31.3 °C, evaluando tiempo vs 1/At

FLAVONOIDES						
Tiempo (min)	11.3 °C		21.3 °C		31.3 °C	
	At	1/At	At	1/At	At	1/At
0	2.62	0.38168	0.63	1.5873	0.05	20
30	1.24	0.80645	0.48	2.08333	0.06	16.6667
60	0.88	1.13636	0.87	1.14943	0.05	20
90	1.31	0.76336	0.54	1.85185	0.02	50
120	1.41	0.70922	0.47	2.12766	0.04	25
150	0.98	1.02041	0.68	1.47059	0.05	20
180	1.67	0.5988	0.62	1.6129	0.04	25

Tabla 7: Datos experimentales de flavonoides a los diferentes tiempos y temperaturas evaluadas.

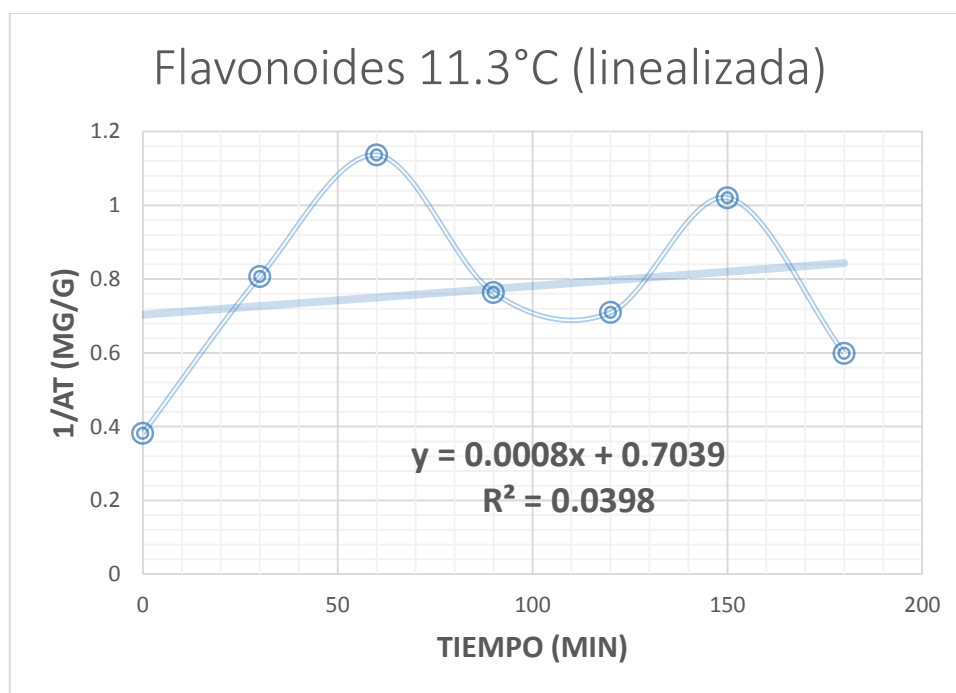


Figura 7: Grafica de flavonoides a 11.3 °C, evaluando tiempo vs 1/At

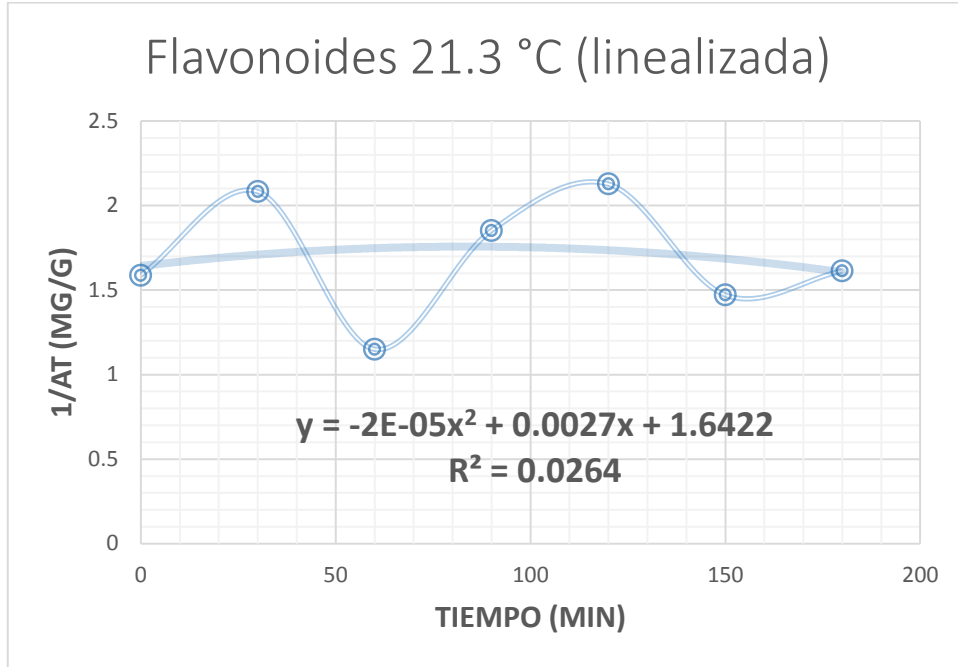


Figura 8: Grafica de flavonoides a 21.3 °C, evaluando tiempo vs 1/At

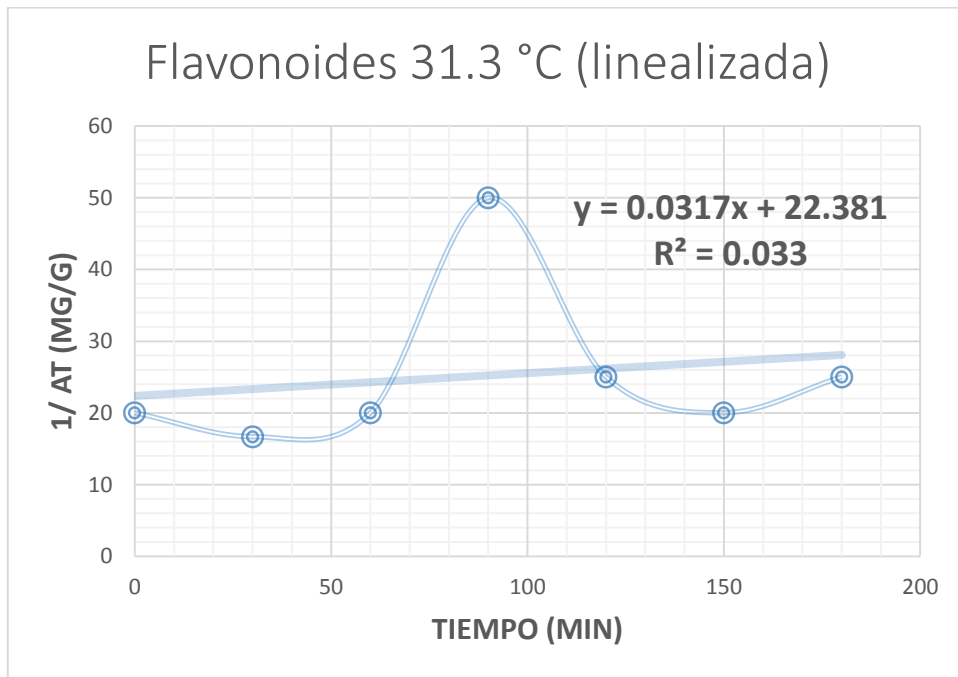


Figura 9: Grafica de flavonoides a 31.3 °C, evaluando tiempo vs 1/At

BETAXANTINAS						
Tiempo (min)	11.3 °C		21.3 °C		31.3 °C	
	At	1/At	At	1/At	At	1/At
0	0.59	1.69492	0.61	1.63934	0.09	11.1111
30	0.35	2.85714	0.65	1.53846	0.07	14.2857
60	0.3	3.33333	0.45	2.22222	0.1	10
90	0.27	3.7037	0.91	1.0989	0.09	11.1111
120	0.33	3.0303	0.52	1.92308	0.13	7.69231
150	0.29	3.44828	0.67	1.49254	0.11	9.09091
180	0.35	2.85714	0.5	2	0.14	7.14286

Tabla 8: Datos experimentales de betaxantinas a los diferentes tiempos y temperaturas evaluadas.

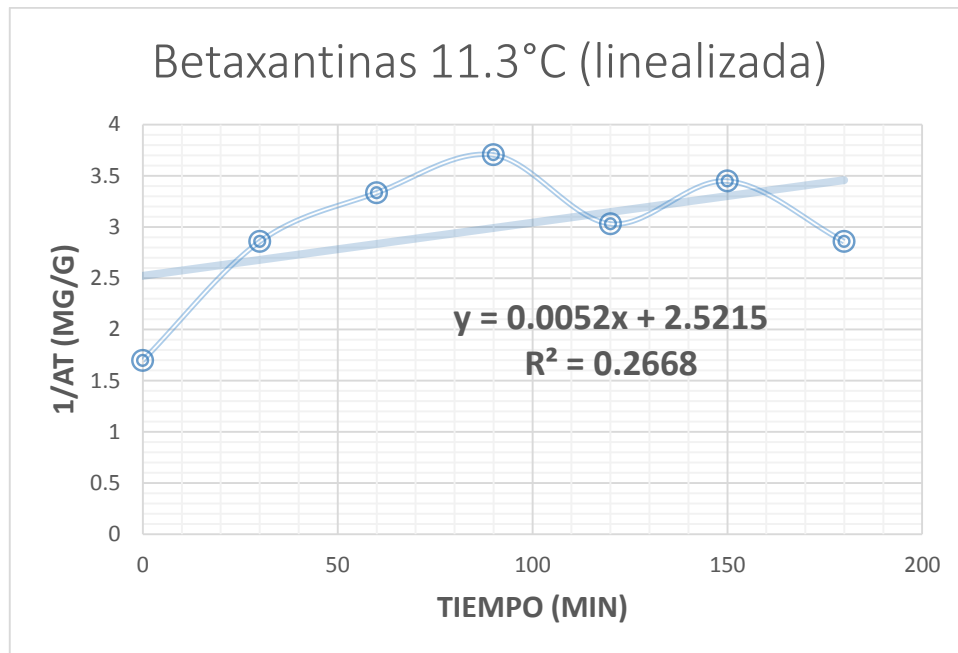


Figura 10: Grafica de betaxantinas a 11.3 °C, evaluando tiempo vs 1/At

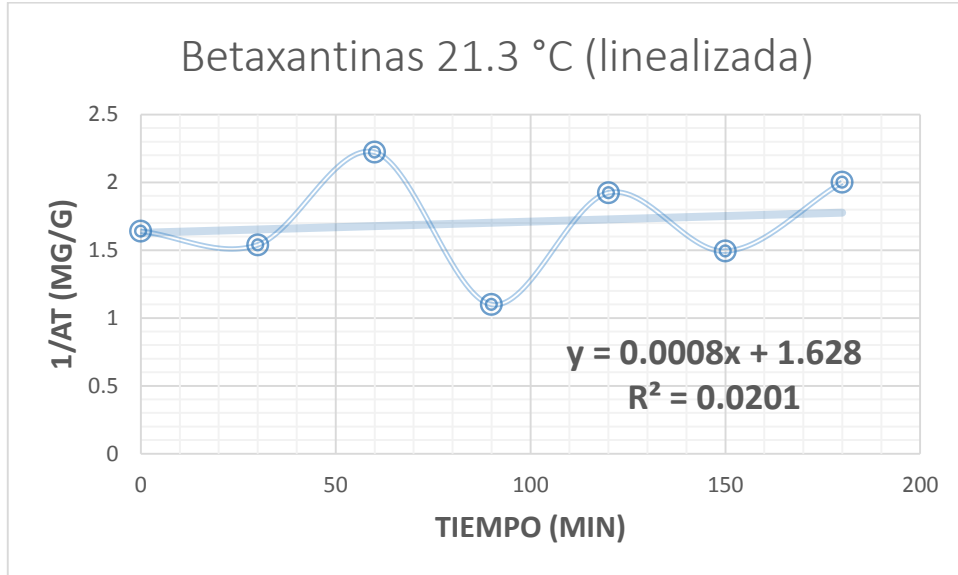


Figura 11: Grafica de betaxantinas a 21.3 °C, evaluando tiempo vs 1/At

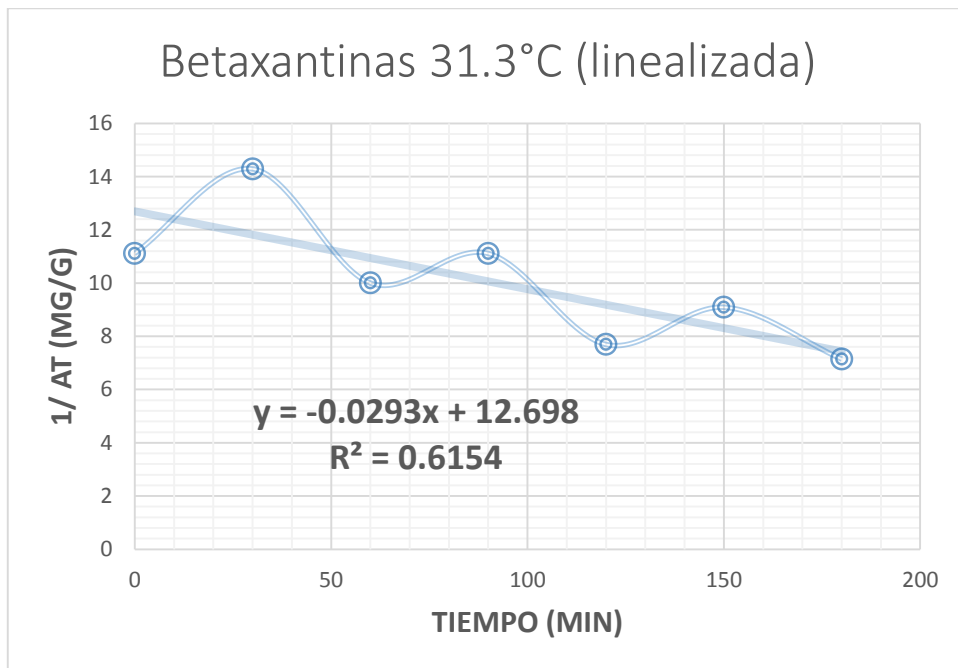


Figura 12: Grafica de betaxantinas a 31.3 °C, evaluando tiempo vs 1/At

BETACIANINAS						
Tiempo	11.3 °C		21.3 °C		31.3 °C	
	At	1/At	At	1/At	At	1/At
0	1.72	0.5814	0.38	2.63158	0.08	12.5
30	1.36	0.73529	0.33	3.0303	0.1	10
60	0.92	1.08696	0.25	4	0.07	14.2857
90	1.61	0.62112	0.49	2.04082	0.08	12.5
120	1.38	0.72464	0.27	3.7037	0.1	10
150	1.28	0.78125	0.34	2.94118	0.11	9.09091
180	1.42	0.70423	0.25	4	0.11	9.09091

Tabla 9: Datos experimentales de betacianinas a los diferentes tiempos y temperaturas evaluadas.

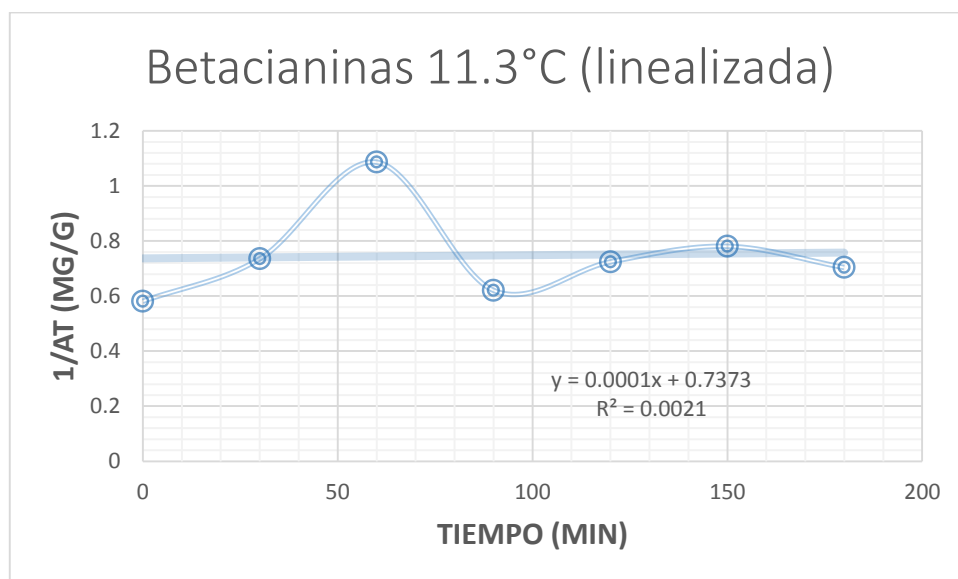


Figura 13: Grafica de betacianinas a 11.3 °C, evaluando tiempo vs 1/At

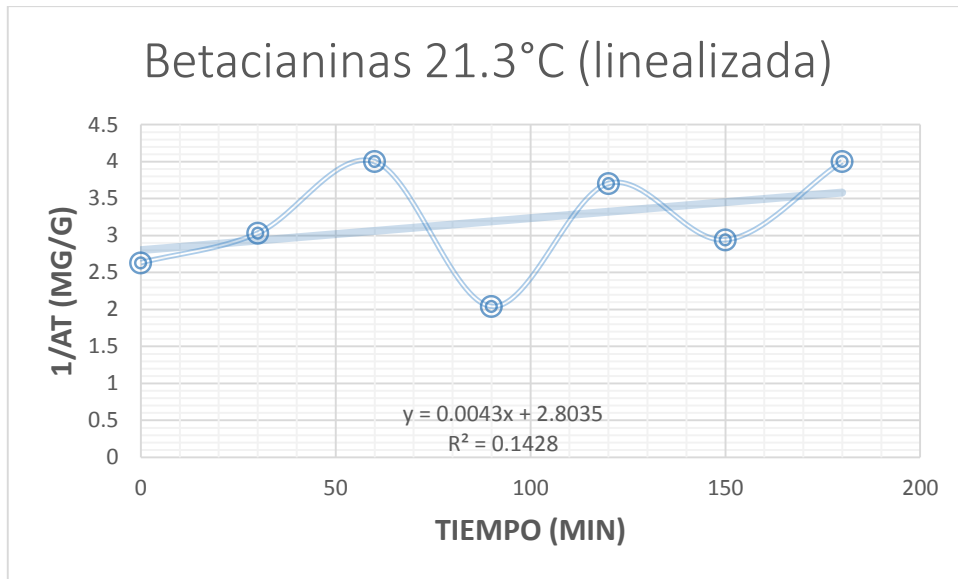


Figura 14: Grafica de betacianinas a 21.3 °C, evaluando tiempo vs 1/At

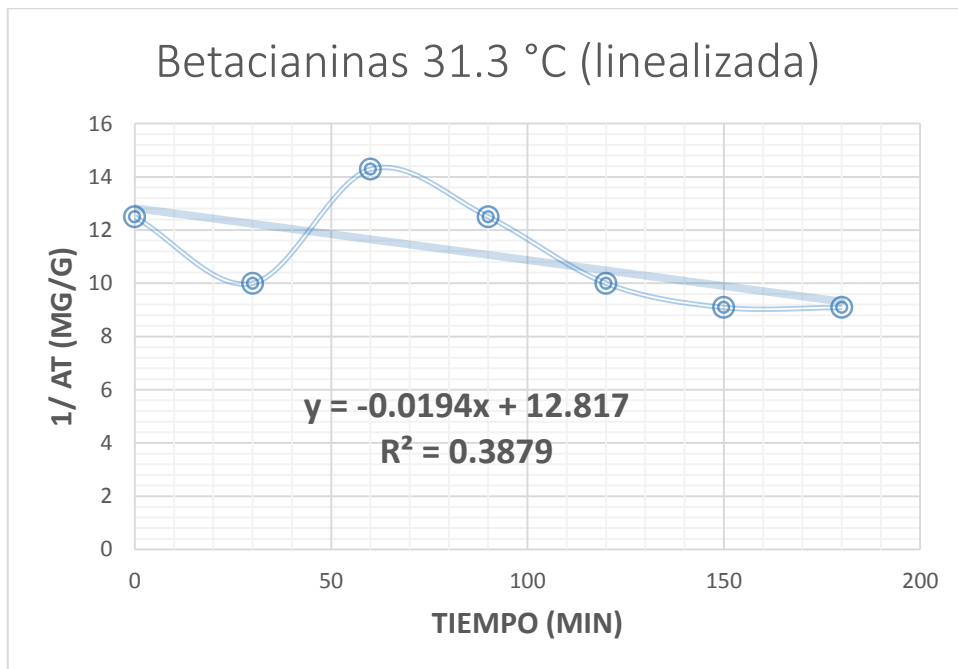


Figura 15: Grafica de betacianinas a 31.3 °C, evaluando tiempo vs 1/At

4.3 Cálculo de k (velocidad de deterioro)

Obtenidos los resultados de las gráficas linealizadas, se pudo determinar k ($m=k$) para cada atributo de calidad a las diferentes temperaturas trabajadas, los resultados se describen en la tabla 9.

Temperatura	Atributo de calidad	$m = K$
11.3	Fenoles	0.0048
	Flavonoides	0.0008
	Betaxantinas	0.0052
	Betacianinas	0.0001
21.3	Fenoles	0.0795
	Flavonoides	0.0317
	Betaxantinas	0.0008
	Betacianinas	0.0043
31.3	Fenoles	0.3602
	Flavonoides	0.0317
	Betaxantinas	0.0293
	Betacianinas	0.0194

Tabla 10: Datos obtenidos de k para los diferentes atributos de calidad.

4.4 Efecto de la temperatura

En base a la ecuación de Arrhenius se determinó el efecto de la temperatura para cada uno de los atributos de calidad, las determinaciones se muestran la tabla 10. Graficando \ln vs $1/T$ se encontró la pendiente, la energía de activación (EA) se calcula en base a un despeje de la ecuación que se muestra a continuación:

$$m = \frac{EA}{R}$$

$$EA = m * R$$

FENOLES				
T (°k)	T (°C)	1/T (1/°K)	K	Ln k
284.3	11.3	0.00351741	0.0048	-5.33913936
294.3	21.3	0.00339789	0.0795	-2.53199826
304.3	31.3	0.00328623	0.3602	-1.02109585
FLAVONOIDES				
T °k	T °C	1/T (1/°K)	K	Ln k
284.3	11.3	0.00351741	0.0008	-7.13089883
294.3	21.3	0.00339789	0.0317	-3.4514386
304.3	31.3	0.00328623	0.0317	-3.4514386
BETAXANTINAS				
T °k	T °C	1/T (1/°K)	K	Ln k
284.3	11.3	0.00351741	0.0052	-5.25909665
294.3	21.3	0.00339789	0.0008	-7.13089883
304.3	31.3	0.00328623	0.0293	-3.53016776
BETACIANINAS				
T °k	T °C	1/T (1/°K)	K	Ln k
284.3	11.3	0.00351741	0.0001	-9.21034037
294.3	21.3	0.00339789	0.0043	-5.44914026
304.3	31.3	0.00328623	0.0194	-3.94248221

Tabla 11: Resultados de los cálculos efectuados para el efecto de la Temperatura, evaluado en los diferentes atributos de calidad.

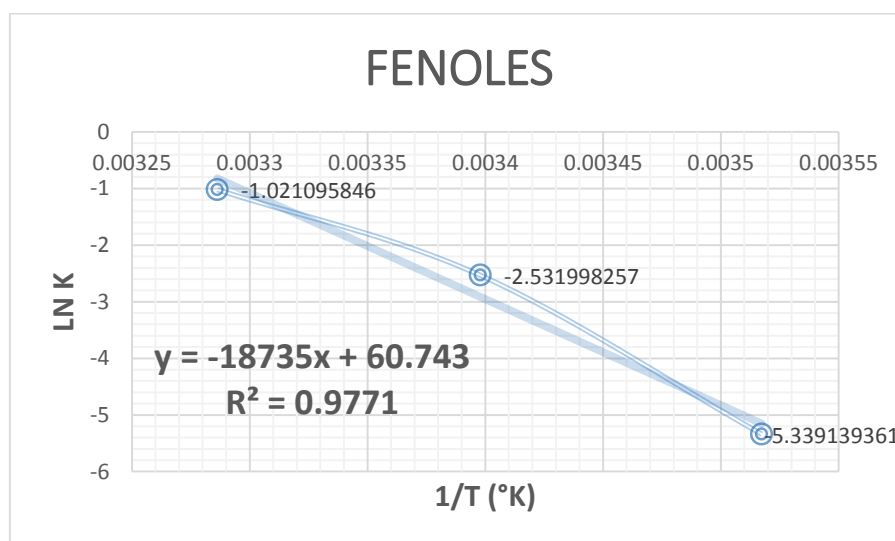


Figura 16: Grafica del efecto de la temperatura en fenoles

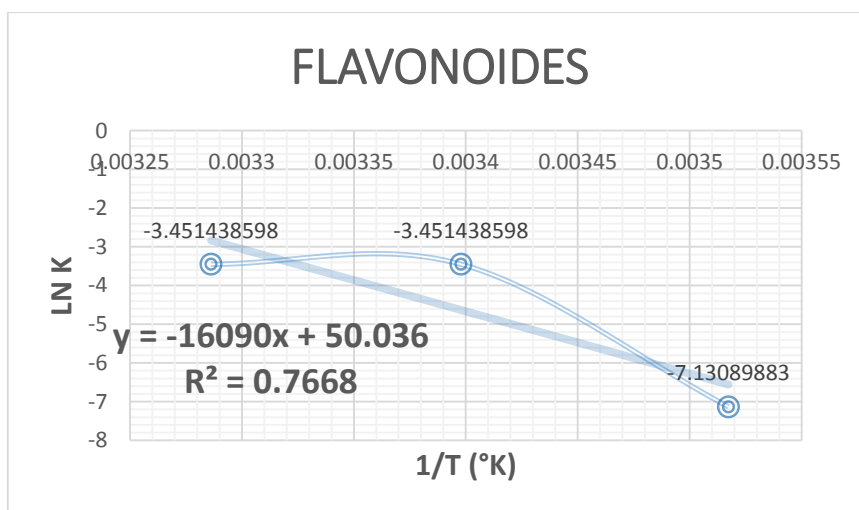


Figura 17: Grafica del efecto de la temperatura en flavonoides

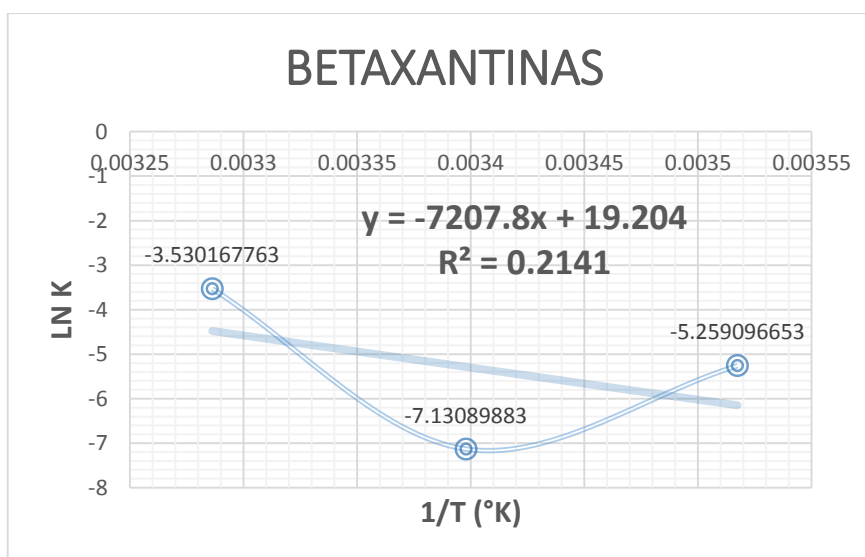


Figura 18: Grafica del efecto de la temperatura en betaxantinas

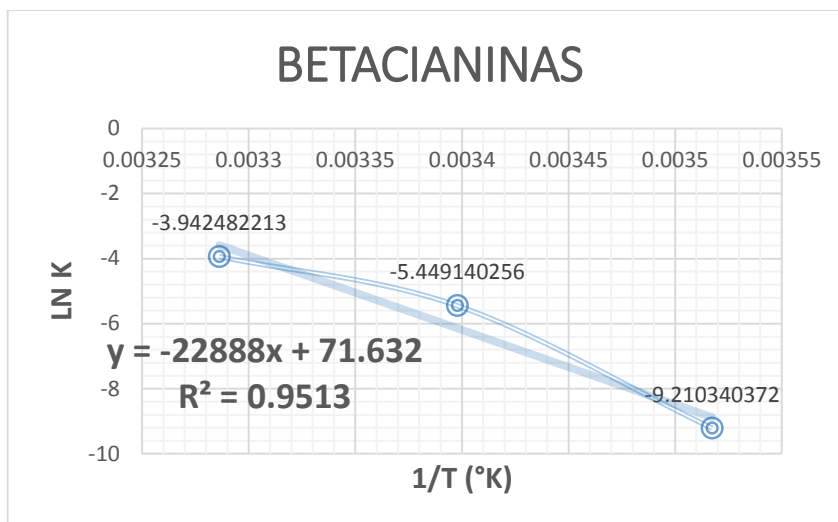


Figura 19: Grafica del efecto de la temperatura en betacianinas

Con la ecuación de la gráfica se obtiene la ordenada al origen, la cual se necesita para obtener k_0 , aplicando tales datos en la ecuación que se describe a continuación:

$$k_0 = e^b$$

Clasificación de K_0		
Atributo de calidad	K_0	Energía de activación (J/mol)
Fenoles	5.58E+21	-155762.79
Flavonoides	5.37E+21	-133772.26
Betaxantinas	218872516	-59925.6492
Betacianinas	1.29E+31	-190290.832

Tabla 12: Cálculos de K_0 para los diferentes atributos de calidad evaluados

4.5 Determinación del tiempo

Dado que se determinó que todas las gráficas son de orden dos, se calculó el tiempo en base a una ecuación específica y se realizó un despeje a la ecuación, que nos permitiría encontrar el tiempo.

$$\frac{1}{At} - \frac{1}{Ao} = k t$$

$$\frac{\frac{1}{At} - \frac{1}{Ao}}{k} = t$$

Donde:

Ao= Valor promedio del atributo de calidad al inicio del proceso.

At= Valor mínimo aceptable del atributo de calidad, consultado en la literatura.

Concentración mínima aceptable	
Atributo de calidad	Valor mínimo (mg/g)
Fenoles	0.1
Flavonoides	0.5
Betaxantinas	0.017
Betacianinas	0.132

Tabla 13: Concentraciones mínimas aceptables para los atributos de calidad evaluados.

FENOLES		
T (°C)	K (gr/mg*min)	Tiempo (min)
11.3	0.0048	1859.319
21.3	0.0795	112.26077
31.3	0.3602	24.7771549
FLAVONOIDES		
T (°C)	K (gr/mg*min)	Tiempo (min)
11.3	0.0008	2024.26261
21.3	0.0317	51.0854917
31.3	0.0317	51.0854917
BETAXANTINAS		
T (°C)	K (gr/mg*min)	Tiempo (min)
11.3	0.0052	10991.3032
21.3	0.0008	71443.471
31.3	0.0293	1950.67498
BETACIANINAS		
T (°C)	K (gr/mg*min)	Tiempo (min)
11.3	0.0001	69958.7935

21.3	0.0043	1626.94869
31.3	0.0194	360.612338

Tabla 14: Determinaciones del tiempo a los diferentes atributos de calidad.

4.6 Cálculo del factor Q10

El factor Q10 es calculado en base a los datos obtenidos de tiempo, se determina el Ln de dicho tiempo y se grafica contra la temperatura, obteniendo una gráfica lineal, de la cual se toma el dato de la ordenada al origen (b), para aplicarlo en la siguiente fórmula, hasta obtener el factor en cuestión. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 14.

$$b = \frac{\text{Ln } Q10}{10}$$

$$\text{Ln } Q10 = b$$

$$Q10 = e^b$$

Temperatura (°C)	Atributo	Tiempo	Ln t
11.3	Fenoles	1859.32	7.5279661
21.3		112.26	4.7208176
31.3		24.76	3.2092294
Temperatura (°C)	Flavonoides	Tiempo	Ln t
11.3		2024.2626	7.6129608
21.3		51.085492	3.9335005
31.3		51.085492	3.9335005
Temperatura (°C)	Betaxantinas	Tiempo	Ln t
11.3		10.991303	2.3971043
21.3		71443.471	11.176662
31.3		1950.675	7.5759307
Temperatura (°C)	Betacianinas	Tiempo	Ln t
11.3		69958.794	11.155662
21.3		1626.9487	7.3944616

31.3	360.61234	5.8878035
------	-----------	-----------

Tabla 15: Resultados del factor Q10.

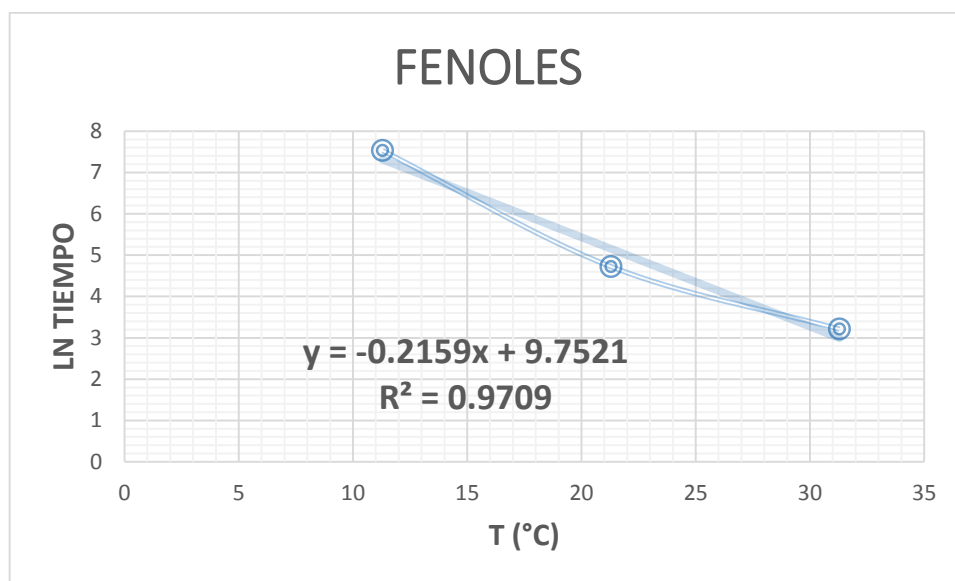


Figura 20: Determinación del factor Q10 de fenoles.

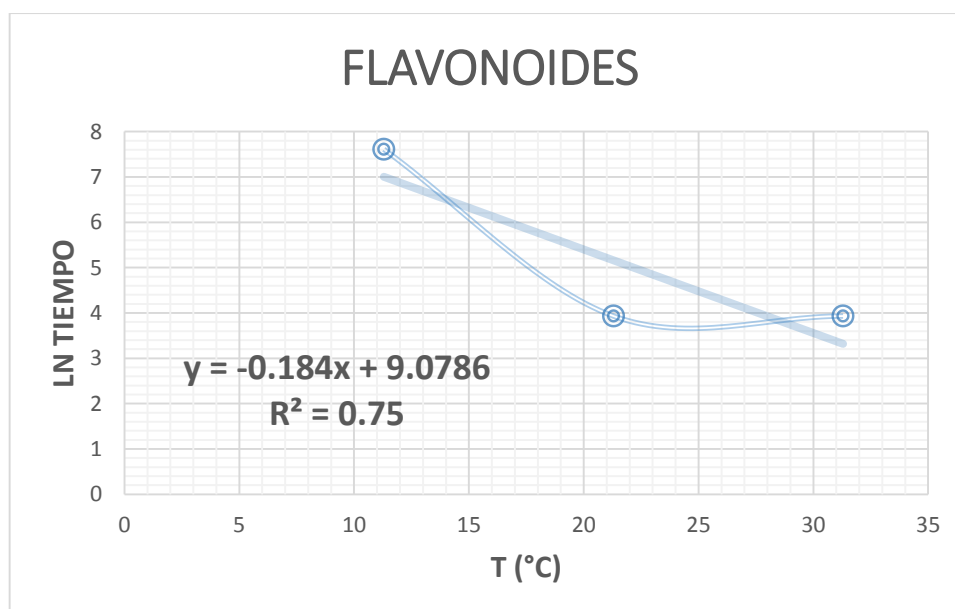


Figura 21: Determinación del factor Q10 de flavonoides.

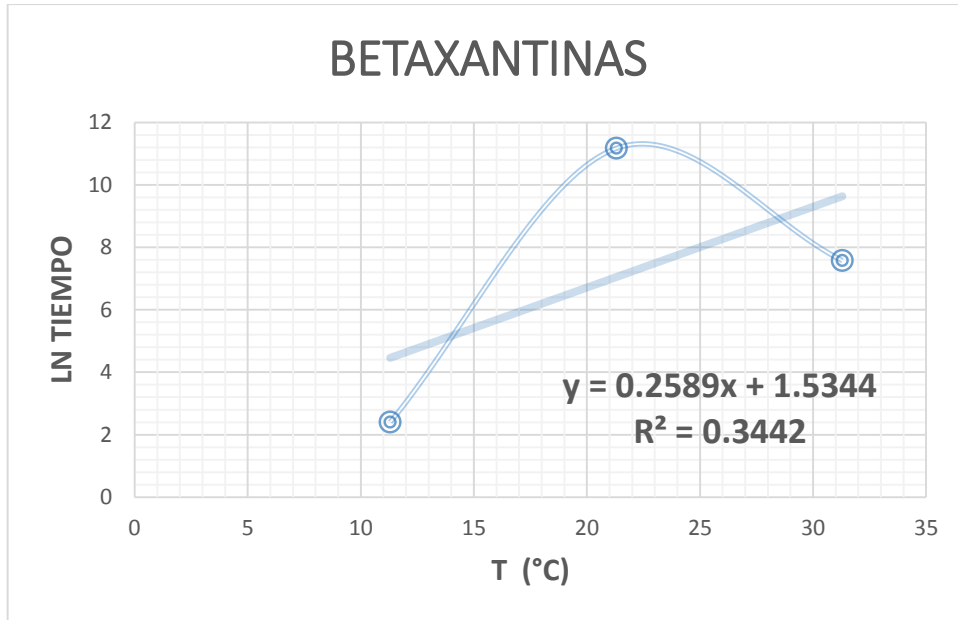


Figura 22: Determinación del factor Q10 de betaxantinas

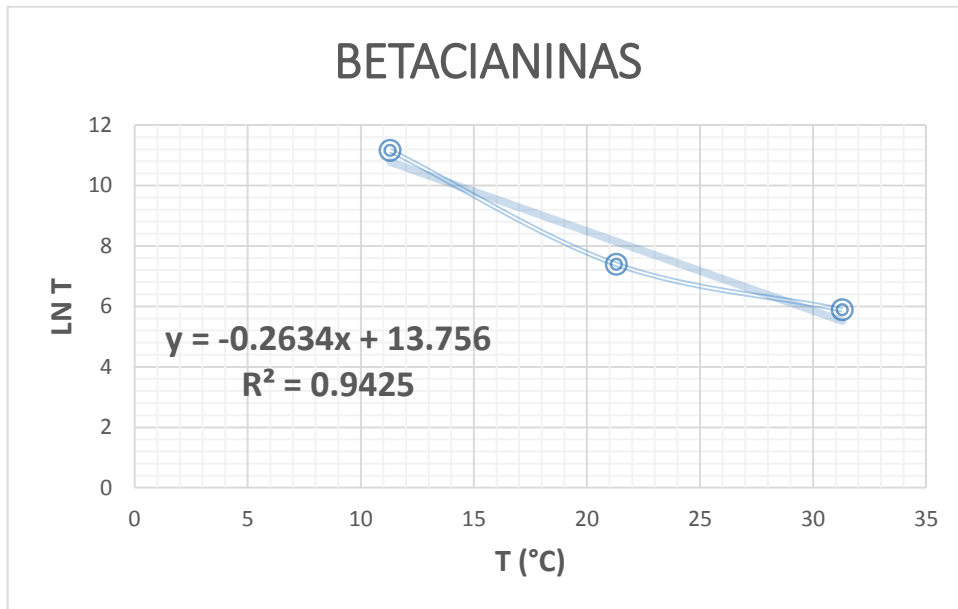


Figura 23: Determinación del factor Q10 de betacianinas

Se muestra en la tabla 15 el concentrando de los datos de las temperaturas trabajadas, los atributos de calidad y su respectivo valor del efecto de la temperatura calculados. Se aplicó la fórmula del Ln Q10, obteniendo los datos finales, registrados en la tabla 16.

$$\ln Q10 = \frac{EA}{R} \left[\frac{10}{T(T+10)} \right]$$

$$Q10 = e^{\text{Valor obtenido de Q10}}$$

Temperatura	At	EA	R
284.3	Fenoles	155762.79	8.314
294.3	Flavonoides	133.77226	
304.3	Betaxantinas	59925.649	
	Betacianinas	190290.83	

Tabla 16: Determinación del factor Q10 de los atributos de calidad.

Temperatura (°C)	At	Factor Q10
11.3	Fenoles	9.385514285
	Flavonoides	1.001924893
	Betaxantinas	2.366615723
	Betacianinas	15.41783906
21.3	Fenoles	8.101093479
	Flavonoides	1.001798266
	Betaxantinas	2.236342637
	Betacianinas	12.88074912
31.3	Fenoles	7.091365298
	Flavonoides	1.00168374
	Betaxantinas	2.124692113
	Betacianinas	10.94741836

Tabla 17: Determinación del Factor Q10 de los atributos de calidad.

4.7 Cálculo del log vida útil

Los datos para calcular el log de la vida útil se determinan en función del tiempo, aplicándole el logaritmo y graficando contra las temperaturas evaluadas (11.3, 21.3 y 31.3 °C). La tabla 17 muestra los datos que se utilizaron para generar las gráficas, identificadas como 17, 18 y 19 respectivamente.

<i>FENOLES</i>		
<i>T (°C)</i>	Tiempo	Log t
11.3	1859.318996	3.26935391
21.3	112.2607696	2.05022802
31.3	24.77715487	1.39405144

<i>FLAVONOIDES</i>		
<i>T (°C)</i>	Tiempo (min)	Log t
11.3	2024.262607	3.30626685
21.3	51.08549166	1.70829758
31.3	51.08549166	1.70829758

<i>BETAXANTINAS</i>		
<i>T (°C)</i>	Tiempo (min)	Log t
	10991.30323	4.04104919
21.3	71443.47101	4.85396255
31.3	1950.674976	3.29018491

<i>BETACIANINAS</i>		
<i>T (°C)</i>	Tiempo (min)	Log t
11.3	69958.7935	4.84484231
21.3	1626.948686	3.21137386
31.3	360.6123376	2.55704058

Tabla 18: Datos de cálculos del log de vida útil.

Se puede observar que el tiempo de vida de anaquel en los compuestos de fenoles y flavonoides, disminuye con más rapidez que en el caso de los atributos de betaxantinas y betacianinas, se puede considerar que estos compuestos fenólicos permanecen por más tiempo en el concentrado de fruto, aún en condiciones más elevadas de temperatura.

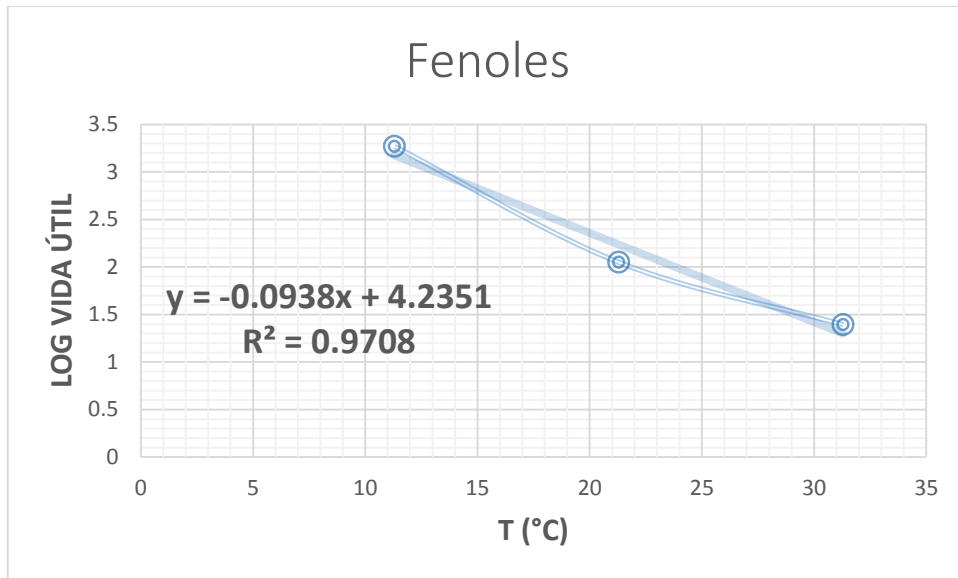


Figura 24: Datos de cálculos del log de vida útil fenoles.

$$\text{Log vida útil} = 0.0938 + 4.2351 T$$

$$\text{Vida útil} = 10^{(0.0938 + 4.2351 T)}$$

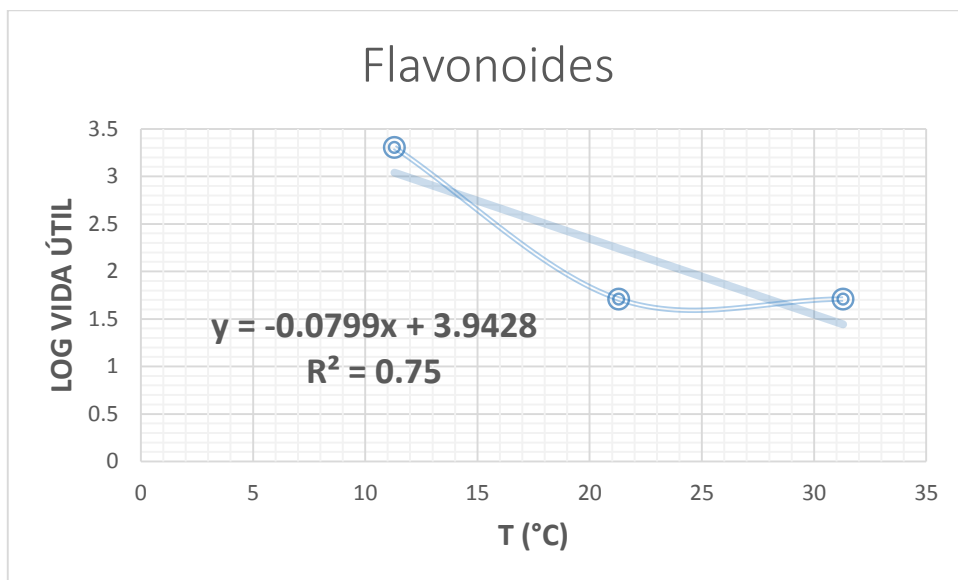


Figura 25: Datos de cálculos del log de vida útil flavonoides.

$$\text{Log vida útil} = 0.0799 + 3.9428 T$$

$$\text{Vida útil} = 10^{(0.0799 + 3.9428 T)}$$

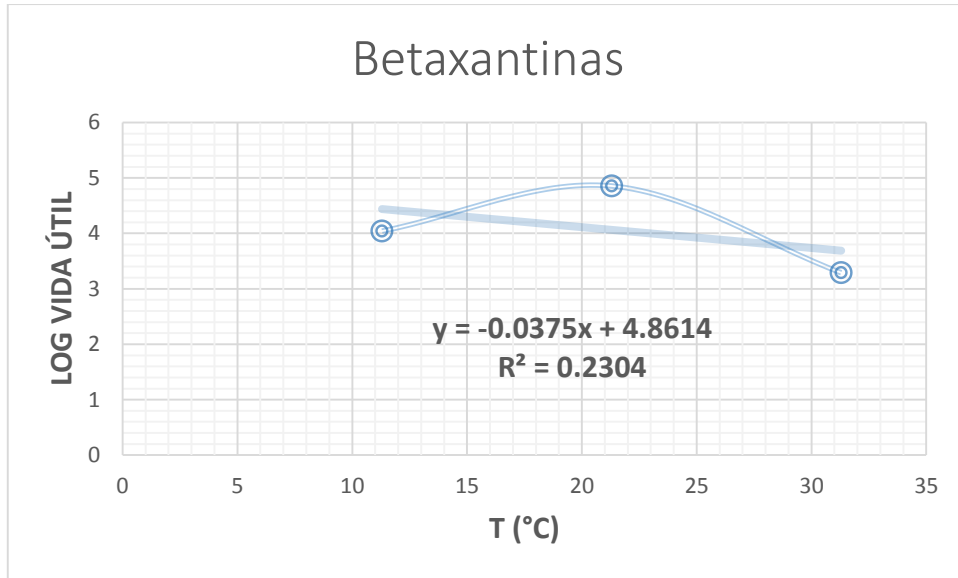


Figura 26: Datos de cálculos del log de vida útil betaxantinas

$$\text{Log vida útil} = 0.0375 + 4.8614 T$$

$$\text{Vida útil} = 10^{(0.0375 + 4.8614 T)}$$

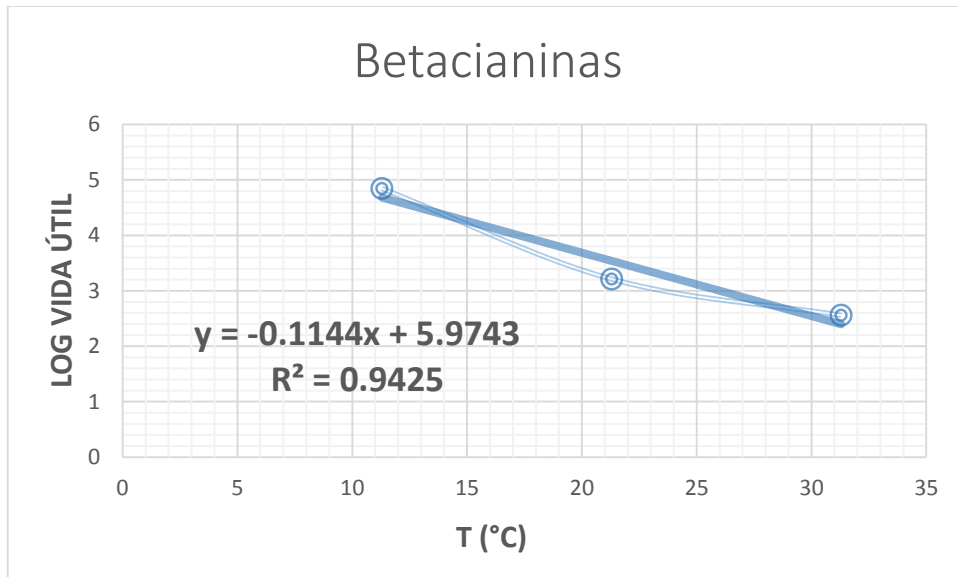


Figura 27: Datos de cálculos del log de vida útil betacianinas

$$\text{Log vida útil} = 0.1144 + 5.9743 T$$

$$\text{Log vida útil} = 10^{(0.1144 + 5.9743 T)}$$

4.8 Análisis estadístico

Los resultados del análisis estadístico, se muestran en las gráficas siguientes:

Cabe mencionar que dicho análisis, se corrió con un índice de confianza del 95%. Donde nos indica que las letras diferentes en las gráficas, indican que hay diferencias significativas entre los valores del factor Q10. Mientras que, las letras iguales indican que los valores del factor Q10 son estadísticamente iguales, es decir que el atributo de calidad evaluado permanece sin cambio a lo largo del tiempo evaluado.

Media	8.1927	1.0018	2.2425	13.0820
Desviación Estándar	1.1498	0.0001	0.1211	2.2420
N	3	3	3	3
95%IC	1.30110741	0.000113161	0.137004062	2.537040666

Tabla 19: Resultados del análisis estadístico ANOVA, realizado mediante software PAST.

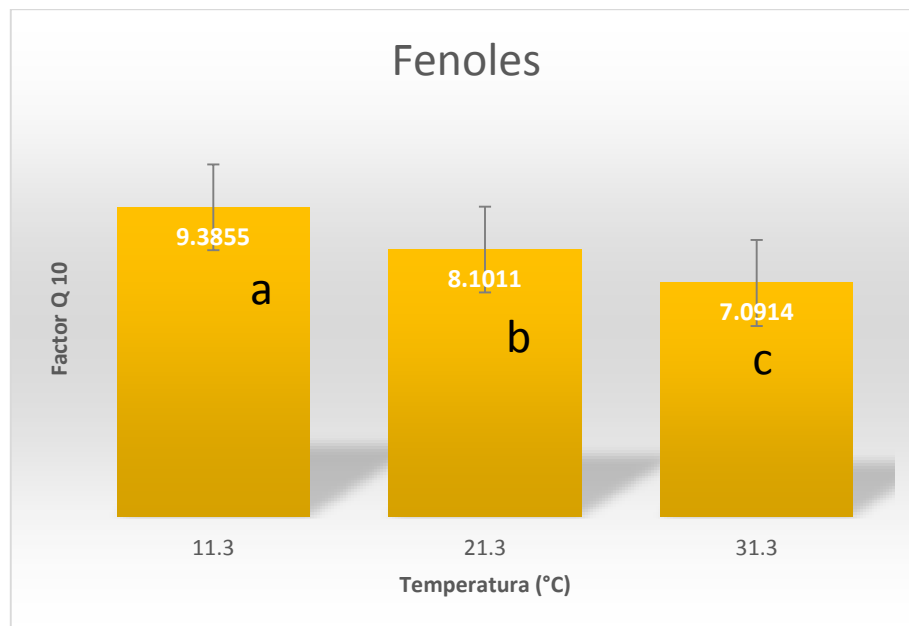


Figura 28: Resultado de análisis estadístico fenoles

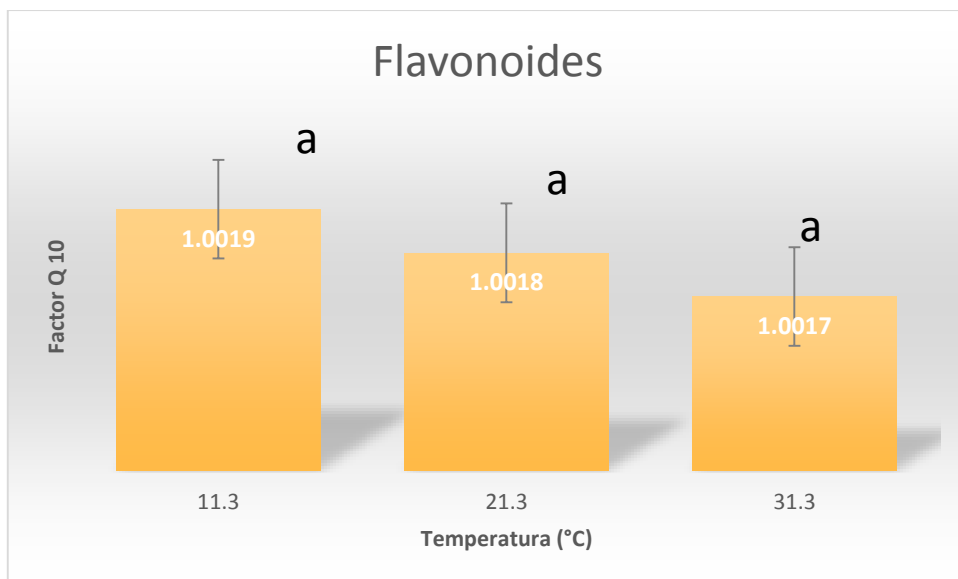


Figura 29: Resultado de análisis estadístico flavonoides

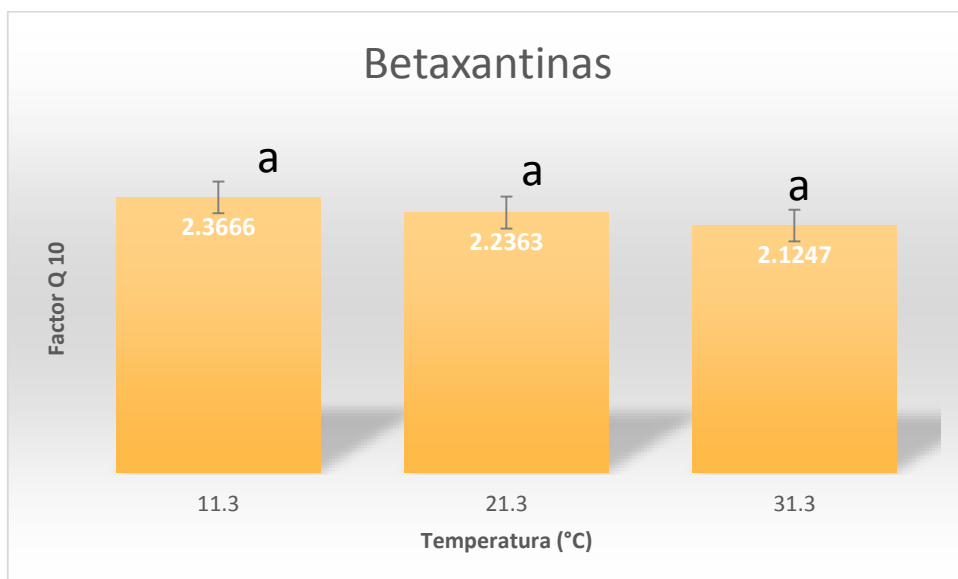


Figura 30: Resultado de análisis estadístico betaxantinas

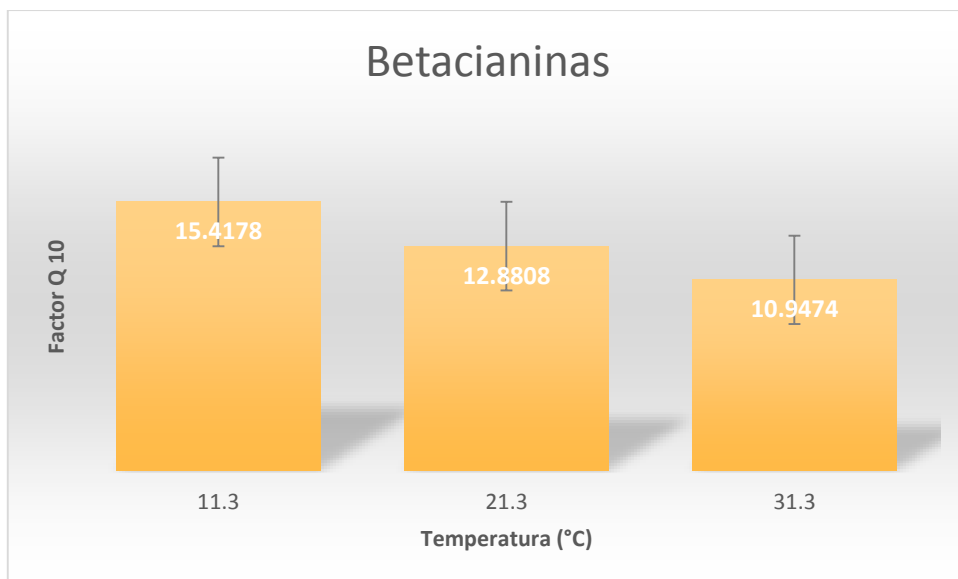


Figura 31: Resultado de análisis estadístico betacianinas

Los atributos de calidad que no mostraron diferencias significativas al aumentar la temperatura fueron los flavonoides, betaxantinas y betacianinas, ya que presentan un comportamiento estable, aunque se observa una pequeña disminución estadísticamente no es importante.

En este caso, el atributo de calidad crítico o con mayor pérdida son los fenoles, pues son los más susceptibles a los cambios altos de temperatura y en función de estos, se debería evaluar el límite de la vida de anaquel del concentrado de fruto.

Capítulo V

5. Conclusiones

En este trabajo se determinó el factor Q10 de un concentrado de fruto a base de pitaya, evaluando la cinética de degradación en condiciones de temperaturas controladas a 11.3, 21.3 y 31.3 °C de cuatro atributos de calidad como fenoles, flavonoides, betaxantinas y betacianinas, observándose que conforme más alta es la temperatura, mayor influencia ejerce en la velocidad de degradación de estos compuestos antioxidantes y que las betaxantinas y betacianinas, son más estables en comparación con los fenoles y flavonoides.

Existen diversos factores que pueden influir en la estabilidad de los compuestos antioxidantes, por ejemplo pueden degradarse perdiendo sus atributos de color y capacidad antioxidante si sufren cambios principalmente en temperatura, así como en el pH, actividad de agua, luz, y la presencia o ausencia de oxígeno.

Los parámetros determinados mediante la ecuación de Arrhenius para la degradación térmica de cada compuesto, así como los valores de Q10, fueron cercanos a los reportados en otras investigaciones. Los valores encontrados de las constantes de velocidad de reacción podrán ser utilizados, en investigaciones futuras, para determinar el tiempo de vida de anaquel a diferentes temperaturas y con diferentes atributos de calidad.

Capítulo VI

6 Referencias bibliográficas

Referencias

Gengatharan, A., Dykes, . G. A. & Choo, W. S., 2015 . Betalains: Natural plant pigments with potential application in functional foods. *LWT- Food Science and Technology*, 42(2), p. 649.

Aguado Alonso, J. y otros, 2002. *Ingeniería de la industria alimentaria. Operaciones de procesado de alimentos*. España : Sintesis .

Albisu Aguado, M., Bayarri Torres, S. & Campo Arribas , M. M., 2011. *Los retos actuales de la industria alimentaria*. Madrid : IMC.

Alejandro Lezama Escobedo, A. E. T. S. G. M. S. y. V. Z. G., s.f. *El cultivo de la pitahaya* , Puebla : FIRCO-PUEBLA .

Alimentarius, C., 2005. *Norma general del codex para zumos (jugos) (CODEX-STAN 247-2005)*, México: s.n.

Ámaro López , M. Á., s.f. [En línea] Available at: <http://www.uco.es/nutybro/docencia/higiene/documentos/historia%20web.pdf> [Último acceso: 01 Mayo 2018].

Anon., s.f. s.l.:s.n.

Anon., s.f. s.l.:s.n.

Anon., s.f. *Norma general del Codex para jugos (CODEX-STAN 247-2005)*. s.l.:s.n.

Anzueto, C. R., 2012. *Modelos matemáticos para estimación de vida útil de alimentos* , San Salvador : Osmosis.

Anzueto, C. R., 2014. [En línea].

Baltes, W., 2007. *Química de los alimentos*. España: ACRIBIA, S.A..

Bedascarrasbure, E., Maldonado , L., Alvarez, A. & Rodríguez, E., 2004. Contenido de fenoles y flavonoides del propoleos argentino.. *Acta farmacéutica bonaerense* , 23(3) , p. 369.

Brasil, I. & Wasim Siddiqui, M., 2018. Postharvest quality of fruits and vegetables:.. *Preharvest Modulation of Postharvest Fruit and Vegetable Quality*, p. 140.

Calles, J. A. y otros, 2009. *Ingeniería de la industria alimentaria*. España: Editorial Sintesis S.A. de C.V. .

Calvo Rebollar , M. & Sevillano Calvo, E., 1998. *Ingeniería de los alimentos. Las operaciones básicas del procesado de alimentos*. Segunda ed. España: Zaragoza .

Calvo Rebollar, M., 2018. La Ciencia y la Tecnología de alimentos, notas sobre su desarrollo histórico. En: *Food chemistry: Acrylamide is formed in the Maillard reaction*. s.l.:s.n.

Carnicero, J., 2012. Estudios acelerados para la estimación de la vida útil de los alimentos no perecederos. *Ainia* , Volumen 25, p. 30.

Casp, A. & Abril, J., 1999. *Procesos de conservación de alimentos*. España: Ediciones Mundi Prensa.

Castro Ríos, K., 2010. *Tecnología de alimentos*. Colombia: Ediciones de la U.

Cavaliere, . A. & Ventura, V., 2018. Mismatch between food sustainability and consumer acceptance toward innovation technologies among Millennial students: The case of shelf life extension. *Journal of Cleaner Production*, Volumen 175, p. 650.

Centro de Investigación Tecnología Alimentaria , 2005. *Curso teórico práctico: vida útil de alimentos aplicados a la industria*, San José, Costa Rica: s.n.

Chica Cardona , B. A. & Osorio Saldarriaga , S. L., 2003 . *Determinación de la vida de anaquel de chocolate de mesa sin azúcar en una película de propileno bioorientado*. , Colombia : s.n.

Coelho, E. y otros, 2015. Systematic approach for the development of fruit wines from industrially processed fruit concentrates, including optimization of fermentation parameters, chemical characterization and sensory evaluation.. *LWT Food Science and Technology*, Volumen 62, p. 1052.

Cordón Orellana , J. A., 2007. *Determinación acelerada de la vida en anaquel de la rosquilla hondureña*, Honduras : s.n.

Coronado, M. y otros, 2015. Antioxidantes: perspectiva actual para la salud humana.. *Revista chilena de nutrición*, 42(2), p. 212.

Corzo Ruíz, L. J., Bautista Ramírez , M. E., Gómez Gómez , Y. d. I. M. & Torres Bustillos, L. G., 2016 . Frutas de cactáceas: compuestos bioactivos y sus propiedades nutraceuticas.. *Alimentos funcionales de hoy*. , p. 66.

Espinoza Atencia, E. J., 2018. *Evaluación de la vida útil de los alimentos (Shelf life): efecto de la temperatura.*, s.l.: s.n.

Esquivel, P., 2004 . Los frutos de las cactáceas y su potencial como materia prima. *Agronomía Mesoamericana* , 15(2) , p. 219 .

Esquivel, P., 2016. Industrial Applications for Improving Food Color. *Handbook on Natural Pigments in Food and Beverages*, p. 99.

- Gagandeep , J. & Gould, K., 2015 . Are betalain pigments the functional homologues of anthocyanins in plants. *Environmental and Experimental Botany*, Issue 53, p. 119.
- García , C. & Molina , M., 2008. Estimación de la vida útil de una mayonesa mediante pruebas aceleradas. *Revista de la Universidad de Costa Rica* , 18 (64), p. 64.
- García Cruz, L. y otros, 2017. Betalains and phenolic compounds profiling and antioxidant capacity of pitaya (*Stenocereus* spp) fruit from two species (*S. pruinosus* and *S. stellatus*).. *Food Chemistry*, Volumen 234 , p. 118.
- García García , P., López López , A. & Gárrido Fernandez , A., 2008. Study of the shelf life of ripe olives using accelerated test approach. *Journal of Food Engineering*,, 84(4), p. 575.
- Gómez, F. R., 2009 . *Norma Oficial Mexicana NOM-173-SCFI-2009*, México : Comité Consultivo Nacional de Normalización de Seguridad al Usuario, Información Comercial y Prácticas de Comercio.
- Gutiérrez Závala , Á., Ledesma Rivero, L., García García, I. & Grajales Castillejos, O., 2007. Capacidad antioxidante total en alimentos convencionales y regionales de Chiapas, México.. *Revista cubana de salud pública* , 33(1).
- Hermida Bun, J. R., 2000. *Fundamentos de Ingeniería de procesos agroalimentarios*. Madrid, España : Mundi-Prensa.
- Ibarz Ribas, A., Barbosa Cánovas, G., Garza Garza , S. & Gimeno Añó, V., 2000. *Métodos experimentales en la Ingeniería alimentaria*. España : ACRIBIA, S.A .
- Ma. del Refugio Meraz Alvarado, M. A. G. C. y. R. S., s.f. En: s.l.:s.n.
- Ma. del Refugio Meraz, M. A. G. y. R. S., 2003 . Pitahaya de México Producción y comercialización en el contexto internacional . En: *Pitayas y Pitahayas* . México : CIESTAAM , p. 175.
- Ma. Isabel Cambero, L. F. M. L. G. G. G., 1998. *Tecnología de los alimentos*. España : SÍNTESIS S.A..
- Man, D., 2004. *Caducidad de los alimentos*. España : ACRIBIA, S.A..
- Martínez Flores, S., González Gallego , J., Culebras, J. M. & Tuñón , M. J., 2002. Los flavonoides: propiedades y acciones antioxidantes.. *Nutrición hospitalaria*, 17(6), p. 8.
- Meza Rangel, E. y otros, 2014 . Distribución actual y potencial de las cactáceas. *Redalyc*, p. 80.
- Monje , P. M., 2007. *Elaboración y conservación de pasta blandino (Allium ampeloprasum)* , Chile : Universidad Austral de Chile .

- Moreno, E., Ortiz, B. & Restrepo, L., 2014. Contenido total de fenoles y actividad antioxidante de pulpa de seis frutas tropicales.. *Revista colombiana de química*., 43(3), p. 48.
- Norman N. Potter, J. H. H., 2007 . *Ciencia de los alimentos*. España: Editorial ACRIBIA, S.A. .
- Orozco, B., 2009 . s.l.: s.n.
- Peña, C. B. & Restrepo, L. P., 2013. Compuestos fenólicos y carotenoides en la papa.. *Revista SAN* , 14(1), p. 8.
- Peñarrieta, M. y otros, 2014. Compuestos fenólicos y su presencia en alimentos.. *Revista boliviana de química* , 31(2), p. 81.
- Phimolsiripol, Y. & Suppakul, P., 2016. Techniques in shelf life evaluation of food products. *Reference Module in Food Science*.
- Porras, A. T., Loaiza, A. & López, M., 2009. Importancia de los grupos fenólicos en los alimentos.. *Temas selectos de Ingeniería de alimentos* , p. 134.
- Preddy, V., 2015. Effects of processing stages on the profile of phenolic compounds in beer.. *Processing and Impact on Active Components in Food*, p. 539.
- R. Heldman , D. & R. Singh, P., 2009. *Introducción a la Ingeniería de los alimentos*. Segunda edición ed. España : ACRIBIA, S.A..
- Ramirez Ramos, M. y otros, 2015 . Compuestos antioxidantes en variedades pigmentadas de tuna (*Opuntia* sp.). *Revista fitotecnica mexicana* , 38(4) , p. 357.
- Rodríguez , V., 2004. *Estimación de la vida útil de la harina de pejibaye, obtenida por deshidratación.*, Costa Rica : s.n.
- Rondón, E., Pacheco, E. & Ortega , F., 2004. Estimación de la vida útil de un análogo comercial de mayonesa utilizando el factor de aceleración Q10. *Revista de facultad de Agronomía* , Volumen 21, p. 83.
- S. Nielsen , S., 2009. *Análisis de los alimentos*. España: ACRIBIA, S.A..
- Saavedra, J. y otros, 2012. Análisis comparativo de cinéticas de deterioro univariante y multivariante utilizando análisis de componentes principales (PCA). *Vitae*, 9(1), p. 152 .
- Salas Cruz , L. R., 2014. *Aplicación de zeolitas en la propagación, aclimatación y reintroducción de cactáceas en dos zonas ecológicas del Noreste de México.* , Monterrey : s.n.
- Salinas , R. M., González, G. A., Pirovani , M. E. & Ulín , F., 2016. Modelación del deterioro de productos vegetales frescos cortados. *Universidad y ciencia trópico humedo*, 23(2), p. 196.

Sánchez López, O. y otros, 2012. *Método para el manejo poscosecha de la Pitaya*, Huajuapán de León, Oaxaca : s.n.

Sanchez Pineda, M. T., 2003. En: *Procesos de elaboración de alimentos y bebidas*. Córdoba : AMV Ediciones, p. 519.

Silveria, A. C. y otros, 2007. Determination of some quality parameters of the Fuji cultivar and their mutants at harvest. *Ciencia y Tecnología de Alimentos* , 7(1), p. 153 .

Soriano Santos , J. y otros, 2007. Caracterización parcial del pigmento rojo del fruto de la "Jiotilla". *Revista mexicana de Ingeniería química* , 6(1) , p. 25.

Torrieri, E., 2016. Storage stability: Shelf life testing. *Encyclopedia of Food and Health, Reference Module in Food Science*, p. 192.

Van Dijk, M., Dubbelman, S. & Bongers, P., 2011. Plantwide control of fruit concentrate production.. *IFAC Proceedings Volumes*, 42(209), p. 636.

Van Dijk, . M., Dubbelman, . S. & Bongers. , . P., s.f. Plantwide control of fruit concentrate production.. *IFAC Proceedings* , 42(11), p. 636 .

Werlein, H. D. y otros, 2005. Influence of elderberry and blackcurrant concentrates on the growth of microorganisms.. *Food control*, Volumen 16, p. 733.

Wibowo, S. y otros, 2015. Study of chemical changes in pasteurized orange juice during shelf-life: A fingerprinting-kinetics evaluation of the volatile fraction. *Food Research International*, Volumen 75, p. 304.