

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**



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

**“CINETICA DE DESTRUCCIÓN TERMICA DEL PARDEAMIENTO NO  
ENZIMATICO DEL ZUMO DE MARACUYA (*Passiflora Edulis*) DURANTE LA  
CONCENTRACIÓN MEDIANTE UN EVAPORADOR DE DOBLE EFECTO”**

**AUTOR:**

**Bach. PADILLA ESTRADA AMBROCIO ALAIN**

**ASESOR:**

**Ms. JORGE MARINO DOMINGUEZ CASTAÑEDA**

**NUEVO CHIMBOTE - PERÚ**

**2019**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA  
AGROINDUSTRIAL**



**TITULO:**

***“CINETICA DE DESTRUCCION TERMICA DEL PARDEAMIENTO NO ENZIMATICO DEL ZUMO DE MARACUYA (*Passiflora Edulis*) DURANTE LA CONCENTRACION MEDIANTE UN EVAPORADOR DE DOBLE EFECTO”***

**ELABORADO POR:**

**Bach. PADILLA ESTRADA AMBROCIO ALAIN**

**ASESOR:**

**Ms. JORGE MARINO DOMINGUEZ CASTAÑEDA**

**TESIS PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE  
INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

**NUEVO CHIMBOTE – PERÚ**

**2019**



# UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA  
E.P. DE INGENIERÍA DE AGROINDUSTRIAL



## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Siendo las **5:00** p.m. del 08 de febrero del 2019, se instaló en el Auditorio de la Escuela Académica Profesional de Ingeniería Agroindustrial, el Jurado Evaluador, designado mediante resolución N° 008- 2019 -UNS-CFI integrado por los docentes:

- **Dr. Victor Castro Zavaleta**.....Presidente
- **Mg. Jorge Marino Dominguez Castañeda** .....Secretario
- **Ing. Vicente Carranza Varas** .....Integrante para dar inicio a la Sustentación y Evaluación de Tesis, titulada:

“CINÉTICA DE DESTRUCCIÓN TÉRMICA DEL PARDEAMIENTO NO ENZIMÁTICO DEL ZUMO DE MARACUYÁ (Passiflora Edulis) DURANTE LA CONCENTRACIÓN MEDIANTE UN EVAPORADOR DE DOBLE EFECTO”, elaborada por el (os) bachilleres en Ingeniería Agroindustrial.

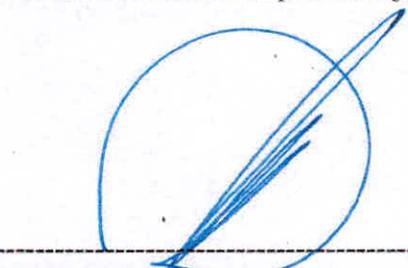
### ➤ **PADILLA ESTRADA AMBROCIO ALAIN**

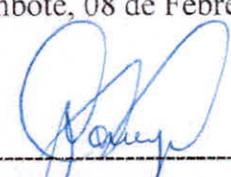
Asimismo, tienen como Asesor al docente: **Mg. Jorge Domínguez Castañeda**, según Resolución. R.D. N° 770 - 2016-UNS-FI. Finalizada la sustentación, el (os) Tesistas respondió (eron) las preguntas formuladas por los miembros del Jurado y el Público presente.

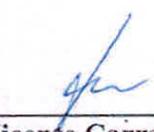
El Jurado después de deliberar sobre aspecto relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes y en concordancia con el Artículo 39° y 40° del Reglamento de Grados y títulos de la Universidad Nacional del Santa, declaran:

BACHILLER	PROMEDIO VIGESIMAL	PONDERACIÓN
PADILLA ESTRADA AMBROCIO ALAIN	<b>18.00</b>	<b>BUENO</b>

Siendo la **6.40** pm del mismo día, se dio por terminado dicha sustentación, firmando en señal de conformidad el presente jurado.

  
 \_\_\_\_\_  
**Dr. Víctor Castro Zavaleta**  
 Presidente

Nuevo Chimbote, 08 de Febrero del 2019.  
  
 \_\_\_\_\_  
**Mg. Jorge Marino Dominguez Castañeda**  
 Secretaria

  
 \_\_\_\_\_  
**Ing. Vicente Carranza Varas**  
 Integrante

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**



**HOJA DE AVAL DEL JURADO EVALUADOR**

El presente trabajo de tesis titulado: **“CINETICA DE DESTRUCCION TERMICA DEL PARDEAMIENTO NO ENZIMATICO DEL ZUMO DE MARACUYA (*Passiflora Edulis*) DURANTE LA CONCENTRACION MEDIANTE UN EVAPORADOR DE DOBLE EFECTO”**, para obtener el título profesional de Ingeniero Agroindustrial, presentado por el Bach. **AMBRPCIO ALAIN PADILLA ESTRADA**, que tiene como asesor al Ms. **JORGE MARINO DOMINGUEZ CASTAÑEDA** designado por resolución decanatural N° 770 - 2016-UNS-FI. Ha sido revisado y aprobado el día 08 de Febrero del 2019, por el siguiente jurado evaluador designado mediante resolución N° 008 – 2019 -UNS-CFI.

---

**Dr. Victor Castro Zavaleta**  
**Presidente**

---

**Ms. Jorge Marino Domínguez Castañeda**  
**Secretario**

---

**Dr. Vicente Carranza Varas**  
**Integrante**

## **DEDICATORIA**

A Dios, por permitirme llegar a este momento tan especial en mi vida. Por los triunfos y los momentos difíciles que me han enseñado a valorarlo cada día más, A mi madre por ser la persona que me ha acompañado durante todo mi trayecto estudiantil y de vida, a mis tíos quienes han velado por mí durante este arduo camino para convertirme en un profesional. A mi padre quien con sus consejos ha sabido guiarme para culminar mi carrera profesional. A mis amigos, que gracias al equipo que formamos logramos llegar hasta el final del camino y que hasta el momento, seguimos siendo amigos: Jesús Gonzales y Frank Mago. A mis profesores, gracias por su tiempo, por su apoyo así como por la sabiduría que me transmitieron en el desarrollo de mi formación profesional.

**Bach. Ambrocio Alain Padilla Estrada**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios por protegerme durante todo mi camino y darme fuerzas para superar obstáculos y dificultades a lo largo de toda mi vida.

A mi madre, que con su demostración de una madre ejemplar me ha enseñado a no desfallecer ni rendirme ante nada y siempre perseverar a través de sus sabios consejos.

A mi padre, que siempre lo he sentido presente en mi vida. Y sé que está orgulloso de la persona en la cual me he convertido.

A mi tío Pablo, por su apoyo incondicional y por demostrarme la gran fe que tienen en mí.

Al Mg. Ing. Jorge Domínguez, asesor de tesis, por su valiosa guía y asesoramiento a la realización de la misma.

Gracias a todas las personas que ayudaron directa e indirectamente en la realización de este proyecto.

**Bach. Ambrocio Alain Padilla Estrada**

## RESUMEN

En este trabajo se estudia la cinética de pardeamiento no enzimático del zumo de maracuyá (*Passiflora edulis*) durante la concentración mediante evaporador de doble efecto de película ascendente, se evaluó la influencia de la presión de vacío (-0.25, -0.5 y -0.75Bar) y caudal de alimentación (10, 20 y 30L/h); el pardeamiento fue medido en términos de absorbancia, azúcares reductores y ácido ascórbico. El zumo presentó: 16.38 de °Brix, 2.64 de pH, 5.17g/100ml de acidez, 5.56g/L de azúcares reductores y 39.04mg/100ml de ácido ascórbico. El caudal de alimentación de 10 a 30L/h produjo un incremento directamente proporcional a la absorbancia e inversamente proporcional a la degradación del ácido ascórbico y a la reducción de azúcares reductores; presiones de -0.25 a -0.75Bar evitaron producir pardeamiento con mayor intensidad; la cinética fue ajustado a un modelo de orden cero. Se determinó que la presión de vacío y caudal de alimentación ejerce fuerte influencia en la cinética.

## ABSTRACT

This paper explores the kinetics of non-enzymatic Browning of juice of passion fruit (*Passiflora edulis*) during the concentration by means of double effect of rising film evaporator, we evaluated the influence of vacuum pressure (- 0.25, - 0.5 and - 0.75Bar) and flow of power (10, 20 and 30 L/h); Browning was measured in terms of absorbance, sugars reducers and Ascorbic acid. Juice presented: 16.38 ° Brix, 2.64 pH, 5.17 g / 100ml of acidity, 5.56 g/L of sugar reducers and 39.04 mg / 100ml of Ascorbic acid. The flow of power from 10 to 30 L/h produced an increase directly proportional to absorbance and inversely proportional to the degradation of Ascorbic acid and the reduction of sugars reducers; pressure from - 0.25 to - 0.75Bar avoided producing Browning with greater intensity; the kinetics was adjusted to a model of order zero. It was determined that the feed pressure vacuum and flow have strong influence on the kinetics.

## INDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN	i
ABSTRACT	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	3
2.1. Maracuyá. Descripción	3
2.2. Propiedades fisicoquímicas del fruto de maracuyá	4
2.3. Composición química proximal del maracuyá	6
2.4. Industrialización del maracuyá	8
2.5. Producción y exportaciones de maracuyá en el Perú	9
2.6. Zumos concentrados de frutas	11
2.7. Evaporación	11
2.8. Pardeamiento no enzimático	15
2.9. Cinética del pardeamiento no enzimático	20
III. ANTECEDENTES	23
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	26
4.1. Materiales	26
4.2. Metodología	27
4.3. Descripción del Experimento	28
4.4. Diseño experimental	29
4.5. Modelo Estadístico	30
4.6. Análisis de Varianza	30
4.7. Análisis de Control	31
4.8. Técnicas de Procesamiento y Análisis de datos	31
V. RESULTADOS Y DISCUSIONES	32
5.1. Características fisicoquímicas del zumo de maracuyá	32
5.2. Cinética de pardeamiento no enzimático del zumo de maracuyá	34
5.2.1. Perfil de temperaturas durante la concentración	34
5.2.2. Sólidos solubles (°Brix) durante la concentración	37
5.2.3. Evaluación de la absorbancia	40

5.2.4. Evaluación de azúcares reductores	44
5.2.5. Evaluación del Ácido ascórbico	47
5.3. Cinética del pardeamiento no enzimático	50
5.4. Parámetros de la Ecuación de Arrhenius	52
5.5. Estadística de la Cinética de pardeamiento no enzimático del zumo	53
5.5.1 Análisis estadístico de la absorbancia del zumo de maracuyá	53
5.5.2. Análisis estadístico de azúcares reductores del zumo de maracuyá	55
5.5.3 Análisis estadístico del ácido ascórbico del zumo de maracuyá	56
VI. CONCLUSIONES	59
VII. RECOMENDACIONES	60
VIII. BIBLIOGRAFIA	61
IX. ANEXOS	63

## INDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Propiedades fisicoquímicas del fruto de maracuyá	4
Cuadro 2. Composición del fruto fresco del maracuyá	5
Cuadro 3. Características físicas del maracuyá	5
Cuadro 4. Índice de madurez del maracuyá	6
Cuadro 5. Características fisicoquímicas del zumo de maracuyá	7
Cuadro 6. Valor nutricional del maracuyá	7
Cuadro 7. Mecanismos de reacciones de oscurecimiento	16
Cuadro 8. Ecuaciones para los parámetros de calidad en función del tiempo para diferentes órdenes de reacción.	21
Cuadro 9. Diseño experimental	29
Cuadro 10. ANAVA para evaluar el efecto de las variables de estudio en el pardeamiento no enzimático del zumo concentrado de maracuyá	30
Cuadro 11. Características fisicoquímicas del maracuyá	32
Cuadro 12. Perfil de temperaturas según caudal de alimentación y presión de vacío durante la concentración	35
Cuadro 13. °Brix según caudal de alimentación y presión de vacío durante la concentración	38
Cuadro 14. Absorbancia según caudal de alimentación y presión de vacío durante la concentración	41
Cuadro 15. Azúcares reductores (g/L) según caudal de alimentación y presión de vacío durante la concentración	45
Cuadro 16. Ácido ascórbico (mg/100ml) según caudal de alimentación y presión de vacío durante la concentración	48
Cuadro 17. Parámetros de la cinética de pardeamiento según variables	52
Cuadro 18. Análisis de varianza para evaluar la absorbancia	53
Cuadro 19. Prueba de Tukey para absorbancia	54
Cuadro 20. Análisis de varianza para evaluar azúcares reductores	55
Cuadro 21. Prueba de Tukey para azúcares reductores	56
Cuadro 22. Análisis de varianza para evaluar ácido ascórbico	57
Cuadro 23. Prueba de Tukey para ácido ascórbico	58

## INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Maracuyá ( <i>Passiflora edulis</i> )	3
Figura 2. Evolución de la producción nacional de maracuyá 2006 – 2017	10
Figura 3. Evaporador de doble efecto de película ascendente.	12
Figura 4. Evaporador de película ascendente	14
Figura 5. Reacciones de oscurecimiento de Maillard	19
Figura 6. Diagrama de flujo del experimento	27
Figura 7. Perfil de temperaturas según caudal a -0.25Bar	36
Figura 8. Perfil de temperaturas según caudal a -0.50Bar	36
Figura 9. Perfil de temperaturas según caudal a -0.75Bar	37
Figura 10. °Brix según caudal a -0.25Bar	39
Figura 11. °Brix según caudal a -0.50Bar	39
Figura 12. °Brix según caudal a -0.75Bar	40
Figura 13. Evolución de la absorbancia según caudal a -0.25Bar	42
Figura 14. Evolución de la absorbancia según caudal a -0.50Bar	43
Figura 15. Evolución de la absorbancia según caudal a -0.75Bar	43
Figura 16. Evolución de azúcares reductores según caudal a -0.25Bar	46
Figura 17. Evolución de azúcares reductores según caudal a -0.50Bar	46
Figura 18. Evolución de azúcares reductores según caudal a -0.75Bar	47
Figura 19. Evolución del ácido ascórbico según caudal a -0.25Bar	49
Figura 20. Evolución del ácido ascórbico según caudal a -0.50Bar	49
Figura 21. Evolución del ácido ascórbico según caudal a -0.50Bar	50
Figura 22. Cinética de pardeamiento no enzimático según Absorbancia	51

## I. INTRODUCCIÓN

Al primer trimestre del 2018, en la costa norte del Perú, la producción de maracuyá se ha incrementado en un 100% con respecto a años anteriores, siendo la razón principal la fuerte demanda internacional en fresco, debido a las características fisicoquímicas que posee el zumo como: alta acidez natural, contenido de potasio y ácido ascórbico, baja concentración de grasa y sólidos y alta concentración de azúcares reductores. Sin embargo, la sobreproducción ha originado que el precio de esta fruta disminuya en un 60% afectando económicamente a los productores, porque en la actualidad el precio en el mercado, no les permite ni siquiera recuperar la inversión, frente a esta realidad, se presenta la alternativa de comercializar el zumo de forma concentrada que en el mercado los precios ofrecen rentabilidad por arriba del 80% más que el fruto en fresco, para ello, con el fin de conservar las características del zumo, se requiere eliminar el agua mediante evaporación al vacío, tecnología que en el sector industrial, emplea diversos tipos de evaporadores desde el más simple que son de un solo efecto hasta los más complejo que son de múltiple efecto, lográndose concentrar los zumos y con ellos, el cambio del color original característico amarillo claro a colores oscuros, debido a reacciones de pardeamiento no enzimático, que conllevan a variaciones de las propiedades organolépticas y a la pérdida del valor nutricional. Para ello, los evaporadores cuentan con sistemas que permiten realizar vacío en el interior de la cámara a fin de reducir la temperatura de ebullición y válvulas para el control de flujo de alimentación del zumo, sin embargo, acompañado a la eliminación de agua, los zumos concentrados que se obtiene a través de evaporadores presentan cambios producto de las reacciones antes mencionada. Con estos resultados, es necesario conocer el comportamiento del pardeamiento no enzimático del zumo de maracuyá, cuando es sometido a diferentes temperaturas de ebullición.

Como tal, en el presente trabajo se plantearon los siguientes objetivos:

**Objetivo General:**

- Evaluar la cinética de destrucción térmica del pardeamiento no enzimático del zumo de maracuyá (*Passiflora edulis*) al variar el caudal de alimentación y la presión de evaporación durante la concentración en un evaporador de doble efecto.

**Objetivos Específicos:**

- Determinar las características fisicoquímicas como color, azúcares reductores, vitamina C, pH, Acidez y Sólidos solubles del zumo extraído a partir del maracuyá.
- Evaluar el pardeamiento no enzimático en el zumo concentrado de maracuyá que produce la variación del caudal de alimentación y la presión de vacío en un evaporador de doble efecto a través del control del color, azúcares reductores y sólidos solubles y ácido ascórbico.
- Cuantificar los parámetros de la cinética de pardeamiento del zumo de maracuyá durante la concentración en el evaporador de doble efecto según caudal de alimentación y la presión de vacío.
- Determinar si existe influencia del caudal de alimentación y la presión de vacío del evaporador de doble efecto durante la concentración en el color, azúcares reductores y ácido ascórbico del zumo de maracuyá mediante análisis estadístico.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Maracuyá. Descripción.

El maracuyá pertenece a la familia Passiflorácea, nativa de la América Tropical. Hay más de 400 especies de *Passiflora* y más 50 de estas especies son comestibles. Sólo los frutos de color púrpura (*Passiflora edulis*) y de color amarillo (*Passiflora edulis*, *Flavicarpia Degener*) se cultivan comercialmente (Jagtiani, et al., 1988).



**Figura 1. Maracuyá (*Passiflora edulis*)**

El fruto de *Passiflora edulis* es redondo u ovalado, de 50 – 55 mm de diámetro con una piel púrpura oscura cuando está maduro. La piel es dura y cerca de 3 mm de espesor. La parte comestible del fruto es de consistencia pulposa y contiene gran cantidad de semillas, por lo que se consume de preferencia en forma de jugo (Salazar y Torres, 1977). Su atractivo color amarillo – anaranjado, su acidez y aroma característicos hacen de esta fruta una especie de gran atractivo para las zonas con microclimas tropicales y sub-tropicales (Osorio, 1981).

El fruto del maracuyá no puede ser almacenado más allá de 2 semanas bajo condiciones normales de temperatura. El fruto puede ser mantenido 4 ó 5 semanas entre 4 a 10° C (7° C óptimo). Sin embargo grosor. La pulpa interior es amarilla – rojiza y contiene cerca de 150 semillas negras rodeadas de un arilo jugoso (Calzada, 1970).

## 2.2. Propiedades fisicoquímicas del fruto de maracuyá

De la Cruz, J. et al (2010), reportaron las características fisicoquímicas del fruto de maracuyá según zonas o altitudes de cultivo, mostrando los valores que se presentan en el cuadro 1. Las diferencias podrían ser generadas por la diferencia entre altura que trae como consecuencia cambios en las precipitaciones, temperaturas y exposición a la radiación solar de los cultivares.

Cuadro 1. Propiedades fisicoquímicas del fruto de maracuyá

Parámetro	Zona alta	Zona media	Zona baja	Promedio
Peso fruto (g)	99.20	99.70	101.30	100.07
% Jugo	41.50	42.50	42.20	42.07
% Cascara	27.70	33.70	36.60	32.67
% Semilla	22.12	21.20	18.20	20.51
Jugo (ml)	42.00	42.60	42.10	42.23
Densidad	1.00	0.90	1.00	0.97
°Brix	15.90	16.00	15.20	15.70
pH	3.00	3.50	2.90	3.13
Acidez	2.00	2.20	3.40	2.53

Fuente: De la Cruz, J. et al (2010)

Ferrari et al (2001), citado por Infantes, G. (2014), realizaron el análisis de composición del fruto fresco de maracuyá, obteniendo los resultados que se muestran en el cuadro 2.

Cuadro 2. Composición del fruto fresco del maracuyá

Componente	(%)
Cáscara	50.3
Jugo	23.2
Semillas	26.2

Fuente: Ferrari et al (2001).

Mamani, P y Quiroz, J. (2017), determinaron algunas características físicas del producto como peso, longitud, diámetro, % pulpa, % de cascaras y % de semillas, siendo los resultados los que se muestran en el cuadro 3.

Cuadro 3. Características físicas del maracuyá

Característica	MAX	MIN	PROMEDIO
Peso (g)	275	125	200
Longitud (cm)	10.9	8.3	9.6
Diámetro (cm)	9.3	6.6	7.95
Pulpa (%)	50.5	47.5	49.0
Cáscara (%)	28.6	30.8	29.7
Semillas (%)	20.9	21.7	21.3

Fuente: Mamani, P y Quiroz, J. (2017)

Por otro lado, Rodriguez, L. et al (2010) evaluaron el índice de madurez del maracuyá en tres estados de madurez (Estado 2 verde, Estado 3 pintón, Estado 5 madurez comercial) conforme se muestra en el cuadro 4. Donde concluyen que el incremento de azucara se asocia con el desarrollo de la calidad óptima del fruto para el consumo, mientras que la acidez total presentó un comportamiento descendente del estado 2 al estado 5.

Cuadro 4. Índice de madurez del maracuyá

Muestra	°Brix	Acidez Titulable (%)	Índice de Madurez
Madurez 2	11.5	5.172	2.22
Madurez 3	14.1	4.797	2.93
Madurez 5	16.3	4.3	3.8

Fuente: Rodriguez, L. et al (2010)

Por otro lado, Mamani, P y Quiroz, J. (2017), para desarrollar una bebida analizaron el índice de madurez del maracuyá, resultados que les llevó a contar con una fruta de mayor aroma, sabor y apariencia general, con 11 °Brix y 1.37945 de acidez alcanzó 7.97 de madurez.

### 2.3. Composición química proximal del maracuyá

Según el cuadro 3, citado por García Torres M.A (2002), el maracuyá, es bastante rica en minerales, como el calcio, el hierro y el fósforo. Contiene vitaminas del tipo A, B y C fundamentalmente y bastante contenido en niacina, que resulta muy adecuada para el tratamiento del colesterol y el perfecto estado de los nervios. En su composición se ha descubierto serotonina, un potente neurotransmisor, necesario para el buen estado del sistema nervioso y cuyas deficiencias son responsables de patologías como la depresión, ciertos tipos de obesidad, comportamientos obsesivos, insomnio, migrañas.

Según Collazos et al (1975), el maracuyá está compuesto de 50 a 60 % de cáscara, de 30 a 40% de jugo y de 10 a 15% de semilla. Es rico en ácido ascórbico, carotenos, el fruto madura cuando ha concentrado los azúcares en su totalidad y cambiado su color; en el cuadro 6, se muestra la composición química del jugo de maracuyá.

**Cuadro 5. Características fisicoquímicas del zumo de maracuyá**

Elemento	Cantidad
pH	2.8 – 3.3
Acidez	2.9 – 5.0%
Sólidos solubles	12.5 – 18.0%
Azúcares totales	8.33 – 11.6%
Azúcares reductores	5.0 – 9.2%
Ácido ascórbico	7.0 – 20.0 mg/100 g.
Niacina	1.5 – 2.2 mg/100g
Potasio	140 – 278 mg/100g

Fuente: García Torres M.A (2002).

Mamani, P y Quiroz, J. (2017), mencionan que el maracuyá amarillo es fuente de proteínas, minerales, carbohidratos, grasa y vitaminas, contiene entre 10 y 14 mg/100g de ácido ascórbico. La coloración amarillo anaranjado del zumo se debe a la presencia de caroteno, asimismo reportan el valor nutricional del maracuyá, a partir de Alimentos. Vitaminas – maracuyá (2016), que se muestra en el cuadro 6.

**Cuadro 6. Valor nutricional del maracuyá**

Componente	Por cada 100g
Calorías (Kcal)	54.00
Grasa (g)	0.40
Colesterol (mg)	0.00
Sodio (mg)	19.00
Carbohidratos (g)	9.54
Fibra (g)	1.45
Azúcares (g)	9.54
Proteínas (g)	2.38
Vitamina A (ug)	108.83
Vitamina C (mg)	24.00
Vitamina B13 (mg)	1.90
Hierro (mg)	1.30
Calcio (mg)	17.00

Fuente: Alimentos. Vitaminas-maracuyá (2016)

Los azúcares constituyen la mayor parte de los carbohidratos. Así, el jugo de la variedad púrpura fluctúa entre 14,4 y 21,9%, mientras en la variedad amarilla estos valores están entre 13 y 18%. En la variedad púrpura la proporción azúcar/ácido es de 5:1 mientras en la variedad amarilla esta proporción es de 3:8, por lo tanto, el jugo de la variedad púrpura es considerado de un sabor mucho más dulce.

Pruthi (1963), informó que el contenido de almidón en el jugo del fruto de la variedad púrpura fluctúa entre 1,0 a 3,7%. Se ha encontrado que el contenido de almidón es más alto en la variedad púrpura que en la variedad amarilla. Una fruta de Maracuyá tiene un valor energético de 78 calorías, 2.4 gramos de hidratos de carbono, 5 mg de Calcio, 17 mg de Fósforo, 0.3 mg de Hierro, 684 mg de vitamina A activada, 0.1 mg de vitamina B2 (Rivoflavina), 2.24 mg de Niacina y 20mg. de Vitamina C.

#### **2.4. Industrialización del maracuyá**

Aguilera y Araneda, (1996) citado por Díaz, L. Padilla, C y Sepulveda, C, manifiestan que las proyecciones y posibilidades de aprovechamiento del maracuyá como fruta exótica son enormes, ya sea en forma de jugo o de jugo concentrado. No obstante, también se ha utilizado el jugo de maracuyá en mezcla con otros jugos de frutas (La industrialización del maracuyá se ha orientado, especialmente, hacia la obtención del jugo natural o concentrado que es muy apetecido por su sabor y aroma característico (Osorio, 1981; Sáenz, 1989).

Vega y Cortés, (1993), obtuvieron pectinas con y sin pigmento incorporado con un 6,6% y 4,7%, respectivamente y aceite de las semillas con un rendimiento de un 22 a 23%, como una forma de lograr el aprovechamiento integral del maracuyá

púrpura. Sáenz y Sepúlveda (1981) caracterizaron el aceite de las semillas de maracuyá amarillo. El fruto se consume como fruta fresca o en jugo. Se utiliza para preparar refrescos, néctares, yogurts, mermeladas, licores, helados, pudines, enlatados.

## **2.5. Producción y exportaciones de maracuyá en el Perú**

En los primeros cuatro meses del 2016, la exportación de maracuyá sumó US\$10.4 millones, mostrando un crecimiento de 50% respecto a igual periodo del año anterior, informó la Asociación de Exportadores (ADEX). El gremio exportador, destacó que la principal partida de exportación es el jugo de maracuyá, que concentró el 88.5% del total y cuyos envíos mostraron un crecimiento de 47.7% al sumar US\$9.9 millones. Esa presentación llegó a un total de nueve mercados, principalmente a Países Bajos que representó el 84%. Le siguieron Estados Unidos con US\$ 500.000, Puerto Rico US\$300.000), Francia, Chile, Honduras, Reino Unido, Panamá y Alemania. La segunda partida exportada es maracuyá sin cocer o cocida (pulpa congelada), que registró envíos por US\$ 400.000, lo que significó un incremento de 134.8%. Estados Unidos fue su principal destino con US\$ 618.000 y un aumento de 5.954% Le siguen Países Bajos, Francia, Italia, Canadá, España, Reino Unido. Indonesia, Alemania, Hong Kong, Suiza y Aruba.

Según la Agencia Agraria.pe (2017), durante el periodo enero-agosto del 2017, nuestro país exportó un total de 881.165 kilos de pulpa de maracuyá por un valor FOB de US\$ 1.882.584. Esto significa un importante crecimiento desde los 377.892 kilos del mismo producto despachados al exterior en igual periodo del 2016 por US\$ 821.632.

Según el portal Agrodata Perú (2017), el país donde se lograron más colocaciones de este producto peruano fue Chile, con ventas por US\$ 991.074. Le siguieron Países Bajos (US\$ 266.855), Argentina (US\$ 244.715), Australia (US\$ 168.675), Estados Unidos (US\$ 80.700), Israel (US\$ 37.400) y otros con montos menores que suman US\$ 93.165. Entre las principales empresas exportadoras de este rubro figuran –siempre en el periodo enero-agosto 2017- Gastronomic Fruits SAC con ventas por US\$ 467.567, seguida de Unión de Negocios Corporativos SAC (US\$ 392.459), Bio Frutos SAC (US\$ 187.276), Exportaciones Mirsa (US\$ 115.134), Fusion Foods SAC (US\$ 101.728), Agropackers SAC (US\$ 93.851), Peruvian Agro Services SAC (US\$ 86.349), Agroindustrias AIB SA (US\$ 58.446) y otros con montos menores que juntos suman US\$ 379.774.

La figura 2, muestra el crecimiento anual de la producción de maracuyá en el Perú, según INEI (2018), donde se observa que de 20.9 en el 2006 se incrementó a 94.81 miles de TM, es decir, aproximadamente 5 veces.

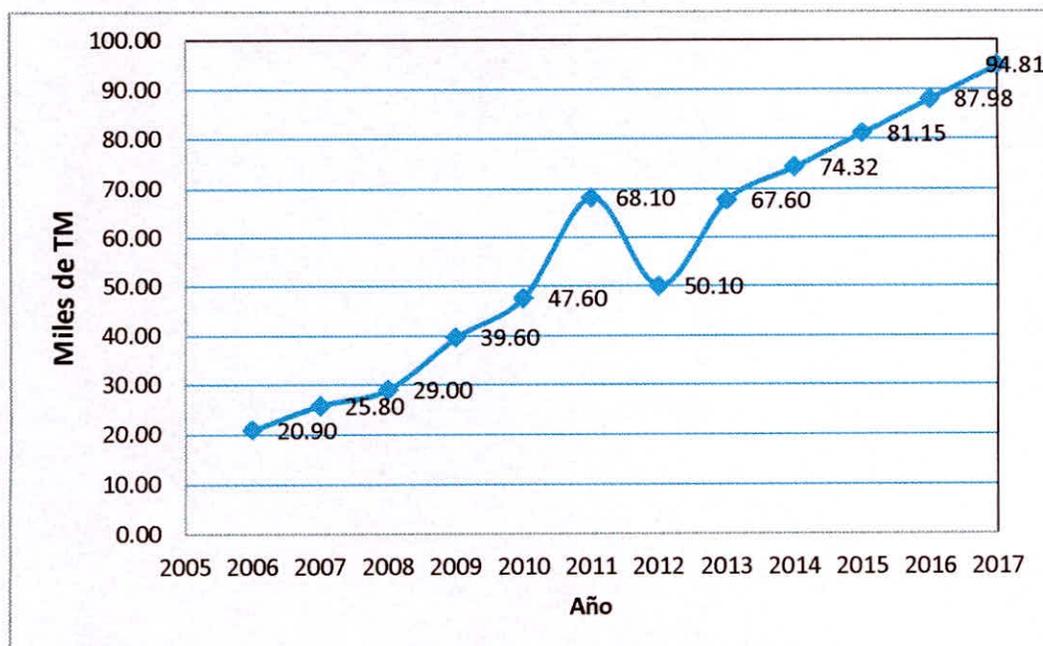


Figura 2. Evolución de la producción nacional de maracuyá 2006 – 2017  
Fuente: INEI (2018)

## **2.6. Zumos concentrados de frutas**

### **▪ Zumos. Definición**

Según el CODEX Alimentario de la FAO (2005), se entiende por zumo (jugo) de fruta el líquido sin fermentar, pero fermentable, que se obtiene de la parte comestible de frutas en buen estado, debidamente maduras y frescas o frutas que se han mantenido en buen estado por procedimientos adecuados, inclusive por tratamientos de superficie aplicados después de la cosecha de conformidad con las disposiciones pertinentes de la Comisión del Codex Alimentarius.

### **▪ Zumos concentrados. Definición**

Según el CODEX Alimentario de la FAO (2005), el zumo (jugo) concentrado de fruta se entiende al producto que a sido eliminada físicamente el agua en una cantidad suficiente para elevar el nivel de grados Brix al menos en un 50%.

## **2.7. Evaporación**

Singh y Hieldman (1993), definen a la evaporación como una operación unitaria básica usada para eliminar agua de alimentos líquidos y así obtener un producto más concentrado, con mayor estabilidad microbiológica y con costos reducidos de almacenamiento y transporte.

Según Brennan, J.G. et al. (1998), la evaporación o concentración de una disolución por ebullición del disolvente, se ve influenciado por la presión externa, solutos disueltos, la carga hidrostática y la carga calorífica. Dentro de los evaporadores existen los de tubos largos que pueden ser de película ascendente o de película descendente. En los evaporadores de película ascendente, el líquido de alimentación penetra por la parte inferior de los tubos, precalentando casi a ebullición y comienza a hervir tras ascender un corto trecho. En este tipo de

evaporador, el tiempo de residencia en la zona de calentamiento es corto y los valores de  $U$  (coeficiente global de transmisión de calor) son elevados, razón por la cual los evaporadores de película ascendente son útiles para concentrar productos termosensibles.

Según manual de EV (2006), la unidad piloto de evaporación (ver figura 3), consta de dos evaporadores de haz tubular del tipo de película descendente y de un condensador de haz tubular; el primer efecto se calienta con vapor y el segundo con el disolvente evaporado en el primer efecto.

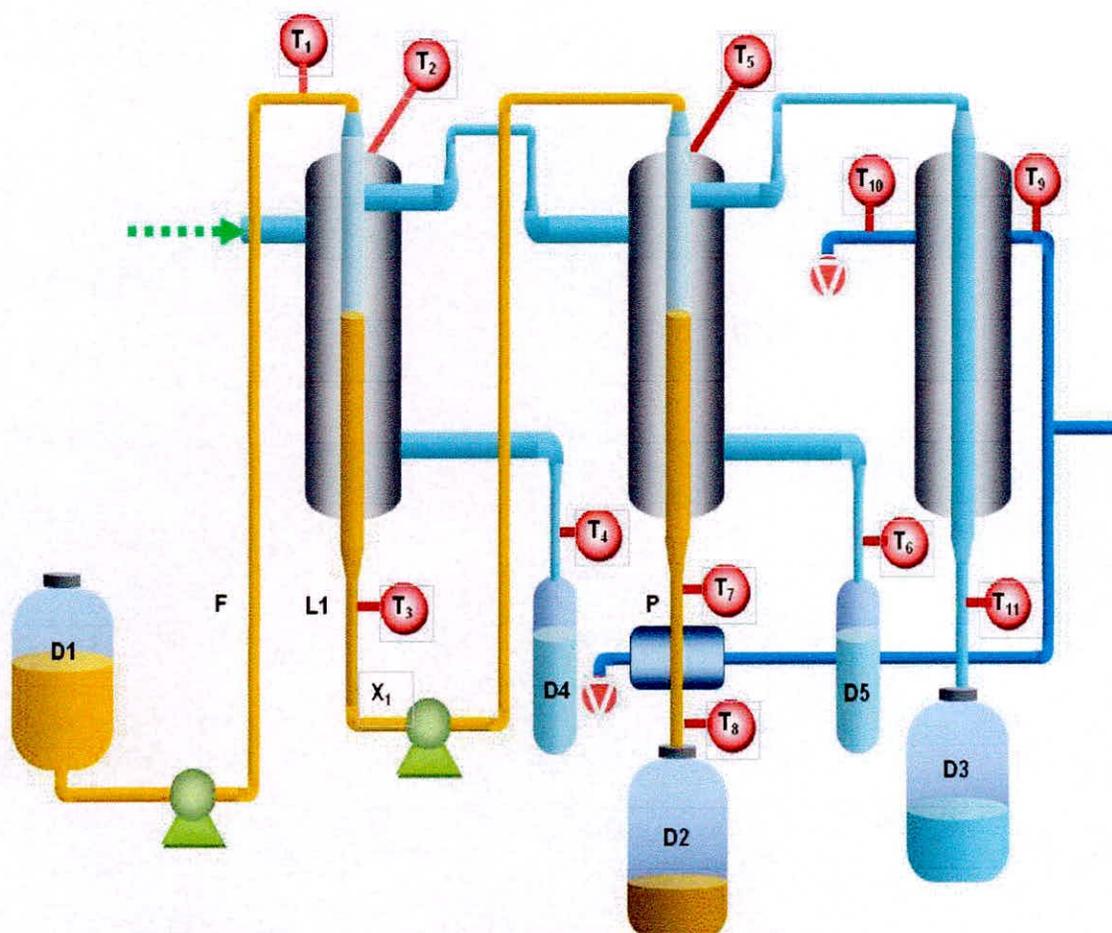


Figura 3. Evaporador de doble efecto de película ascendente.

Rojero, P.M. et al (2008), afirma que uno de los procesos de separación más utilizados en la industria es la evaporación, la cual consiste en separar un solvente de una solución por la vaporización parcial de este, con el consecuente aumento en la concentración del soluto en la mezcla. La evaporación es utilizada en los procesos de concentración de soluciones acuosas de azúcar, cloruro de sodio, hidróxido de sodio, glicerina, gomas, leche y jugo de naranja. En estos casos, la solución concentrada es el producto deseado y el agua evaporada suele desecharse. En la evaporación la transferencia de calor es el fenómeno gobernante. La cual sucede del medio de calentamiento, usualmente vapor de agua, a la solución a concentrar; el evaporador se considera como una etapa de equilibrio instantáneo líquido-vapor, por lo que los fenómenos de transferencia de masa no son relevantes.

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 menor que la atmosférica. Entonces el vapor de agua producido se condensa por el agua líquida que se rocía dentro de la cámara del condensador a una temperatura menor que la de saturación de vapor. Una alta velocidad de evaporación requiere alta velocidad de transferencia de calor. Para esto, existe tres métodos: aumento de la diferencia de temperatura entre el vapor y el líquido que es evaporado, aumento del área disponible para la transferencia de calor y el aumento del coeficiente de transferencia de calor global. (Batty y Folkman, 1990)

Sing y Heldman (1998), manifiestan que de los diferentes tipos de evaporadores, el evaporador de película ascendente (ver figura 4) es aplicable a alimentos líquidos de baja viscosidad, los cuales hierven en el interior de tubos verticales de 10 – 20 m de longitud a nivel industrial. Los tubos se calientan con el vapor existente en el exterior, de tal manera que el líquido asciende por el interior de los tubos arrastrado por los vapores formados en la parte inferior. El movimiento ascendente de los vapores produce una película que se mueve rápidamente hacia arriba. Para alcanzar una película bien desarrollada es necesaria una diferencia de temperaturas entre el producto y el medio de calefacción de al menos 14°C. En este tipo de evaporadores se alcanzan elevados coeficientes de transmisión de calor, pudiendo recircularse el alimento líquido hasta alcanzar la concentración deseada si ésta no se consigue en el primer paso.

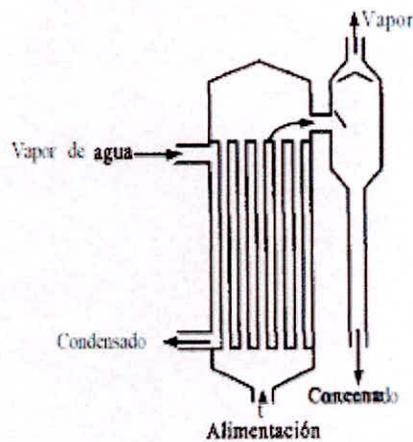


Figura 4. Evaporador de película ascendente

La eliminación de agua de un zumo de fruta se realiza a través de tuberías, de ahí la importancia de conocer el comportamiento de flujo, para ello, Campos, L.O. (2008), manifiesta que para un flujo permanente, la masa de fluido que atraviesa cualquier sección transversal es constante, aun cuando esta sección transversal cambie. Existe flujo de masa y flujo volumétrico, ambos atraviesan una sección transversal por unidad de tiempo y están íntimamente relacionados por la densidad. Esto quiere decir, que cuando el fluido como el zumo de maracuyá, es menos denso el flujo es menor y cuando el fluido es denso, el flujo es mayor.

Brennan, J.G. et al. (1998), afirman que las viscosidades elevadas tienden a reducir las velocidades de circulación y los coeficientes de transmisión de calor. En general, la viscosidad de una disolución sometida a evaporación aumenta con la concentración, por lo que es de esperar que, a medida que discurre la evaporación, descienda la velocidad de transmisión de calor.

## **2.8. Pardeamiento no enzimático**

Es un conjunto de reacciones muy complejas que conducen, en diversos alimentos, a la formación de pigmentos pardos y negros (**melanoidinas**) y a modificaciones favorables o no del olor y sabor. Puente (1996).

Las proteínas interaccionan con azúcares reductores como glucosa, xilosa, maltosa, lactosa, etc., formando pigmentos a través de las reacciones de oscurecimiento. Badui (2006).

Los mecanismos de oscurecimiento, que sintetizan compuestos de colores que van desde un ligero amarillo hasta el café oscuro, han sido clasificados como reacciones enzimáticas y no enzimáticas, conforme lo reportar Badui (2006) en el cuadro 7.

Cuadro 7. Mecanismos de reacciones de oscurecimiento

Mecanismo	O <sub>2</sub> necesario	Grupos amino necesarios	Temperatura elevada	pH óptimo	Azúcares reductores
Caramelización	no	no	sí	alcalino/ácido	sí
Maillard	no	sí	no	alcalino	sí
Oxidación					
ácido ascórbico	sí	no	no	ligeramente ácido	no
Polifenol oxidasa	sí	no	no	ligeramente ácido	no

Fuente: Badui (2006)

Alais y Linden (1990), mencionan que en la condensación de Maillard, los glúcidos son un factor más importante que los aminoácidos que reaccionan mediante sus grupos amino NH<sub>2</sub> libres. Las pentosas presentan una mayor reactividad que las hexosas, en orden de reactividad decreciente se encuentran:

Ribosa > xilosa > arabinosa > manosa > fructuosa > glucosa

Badui (2006), sostiene que los azúcares reductores que más favorecen la reacción de Maillard son, en primer término, las pentosas, y en segundo las hexosas; asimismo, las aldosas actúan más fácilmente que las cetosas, y los monosacáridos son más efectivos que los disacáridos.

El pardeamiento no enzimático se presenta durante los procesos tecnológicos o en el almacenamiento de diversos alimentos; se acelera por el calor y por tanto se observa especialmente durante las operaciones de cocción, pasteurización y deshidratación. Puente (1996).

Según Braverman (1980), citado por Manayay y Ibarz (2010), el pardeamiento no enzimático es un fenómeno de oscurecimiento de naturaleza exclusivamente química, caracterizado por la presencia de polímeros pardos llamadas melanoidinas, generadas por las reacciones de Maillard, la caramelización y el deterioro del ácido ascórbico.

Por su parte Badui, D. (2006), sustenta que las temperaturas elevadas aceleran la reacción de Maillard, pero debido a que su energía de activación es baja, se observa de igual manera hasta en condiciones de refrigeración. En términos generales, la energía de activación ( $E_a$ ) es del orden de 16 a 30 kcal/mol, y el valor de su coeficiente de temperatura,  $Q_{10}$  en el intervalo de 0 a 70°C, es de 2 a 3, por cada 10°C de aumento, la velocidad se incrementa entre dos y tres veces.

Cuando las moléculas que contienen el grupo químico amino, como los aminoácidos, se calientan en presencia de azúcar, se produce la eliminación de una molécula de agua y ambos componentes se unen formando lo que se llama una "base de Schiff". Este compuesto deriva, con mayor o menor rapidez, en otro llamado "compuesto de Amadori" Este nuevo compuesto reaccionará con otros formando moléculas con forma de anillo o cíclicas, que los químicos llaman aromáticas pues, como su nombre indica, confieren las propiedades "olorosas" a las sustancias que las contienen.

Las temperaturas elevadas estimulan de forma importante la reacción, pero el calor, no es una condición indispensable para el desarrollo de la reacción de Maillard, que puede producirse también durante los periodos de almacenamiento. Sin embargo, precisan que la degradación térmica de los glúcidos (caramelización) puede desarrollarse simultáneamente con la Reacción de Maillard y es susceptible de dar lugar a productos comparables (Alais y Linden, 1990).

La caramelización se presenta cuando los azúcares son calentados por encima de su temperatura de fusión, en la que los monosacáridos forman enoles como paso inicial de la reacción. Esta reacción se favorece por la presencia de ácidos carboxílicos, por algunos metales y por pH alcalinos o ácidos (Badui, 2006).

El pardeamiento no enzimático se origina muy frecuentemente por condensaciones entre compuestos con función carbonilo y compuestos con grupo amino (reacción de Maillard), o por las degradaciones de compuestos carbonilo de dobles enlaces conjugados tal como el ácido ascórbico y las reductonas. Como resultado se presenta la formación de polímeros pardos deseables o indeseables, que puede conllevar a modificar el sabor hasta llegar a alimentos incomedibles, bajando a menudo su valor nutricional (Cheftel, J y Cheftel, H., 2000).

La velocidad de pardeamiento aumenta rápidamente con actividades de agua por arriba de 0.5 y con ella, las altas temperatura favorecen. La energía de activación de las reacciones de pardeamiento no enzimático aumenta a medida que la actividad del agua disminuye y viceversa, la energía de activación es menor, cuando la actividad de agua aumenta (Cheftel, J y Cheftel, H., 2000).

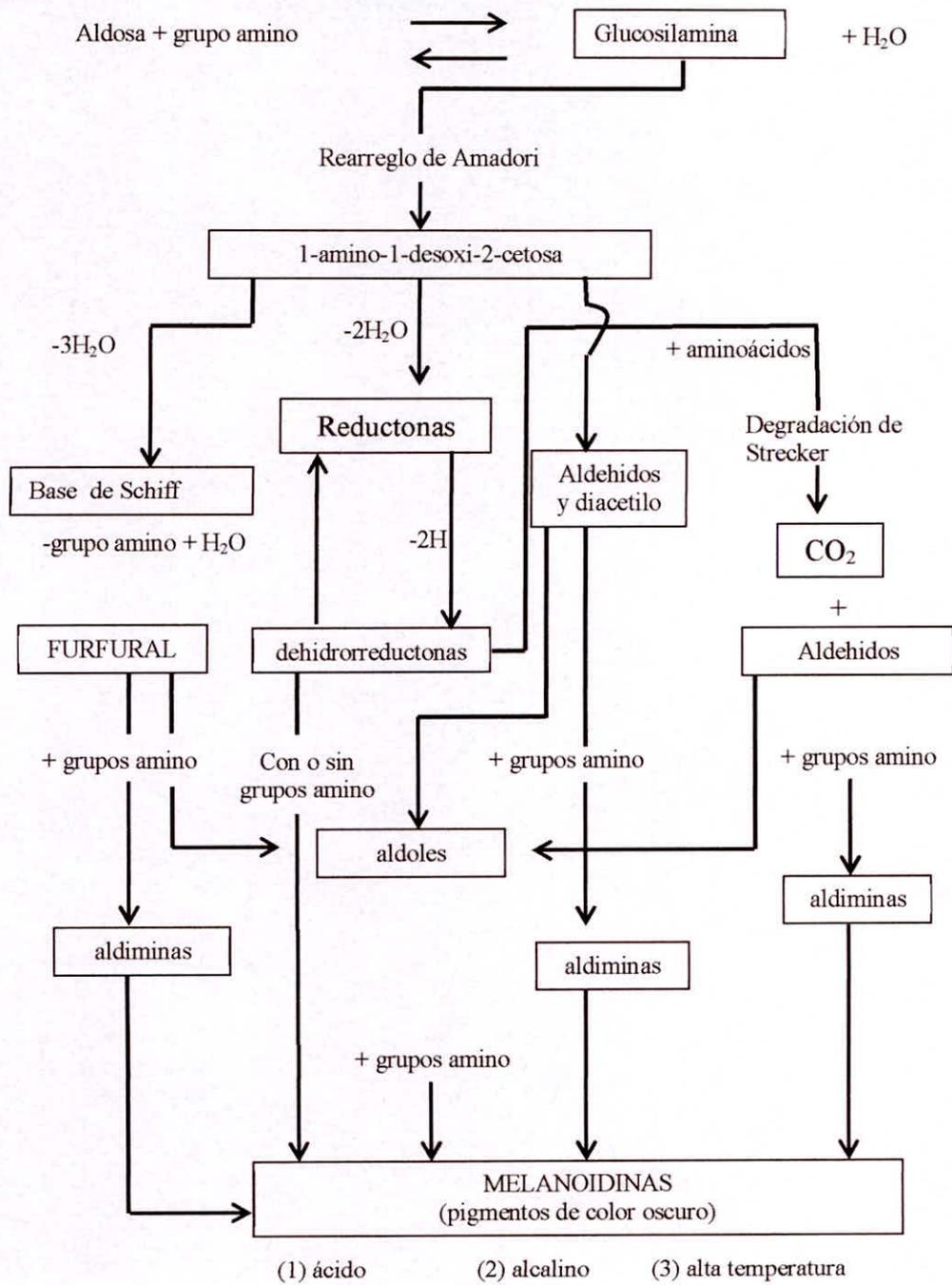


Figura 5. Reacciones de oscurecimiento de Maillard  
Fuente:Badui, D. (2006)

## 2.9. Cinética del pardeamiento no enzimático.

Según Labuza T. P (1984), cualquier tipo de reacción química se puede describir mediante modelos cinéticos, que permiten predecir la calidad del producto en función del tiempo. Los modelos cinéticos se pueden aplicar para estudiar los cambios químicos que experimenta un alimento. Los estudios realizados para establecer un modelo cinético que describa de forma satisfactoria los mecanismos de la reacción del pardeamiento no enzimático casi siempre se han realizado en soluciones modelos, preparadas a partir de una mezcla de diferentes proporciones de hexosas y de algún aminoácido concreto. Los trabajos publicados coinciden en que la formación de melanoidinas no es el producto de una reacción simple, sino que se produce después de que en el medio se desarrollen un conjunto de reacciones muy complejas y que al día de hoy todavía no son conocidas completamente, y que además dependen de la temperatura, pH del medio, tipo de sustrato y su concentración inicial en el producto.

Debido a la complejidad de las reacciones que se presentan en el proceso de pardeamiento no enzimático y obtener un modelo cinético que pueda describir de forma adecuada el proceso global de pardeamiento; la evolución del pardeamiento no enzimático se puede evaluar mediante la variación de ciertos parámetros colorimétricos que pueda presentar el producto que se estudia. La variación del parámetro de color se puede describir mediante una ecuación cinética de la forma:

$$\frac{dP}{d\theta} = -k_i P^n$$

En la que P es la variable de color que se desea estudiar,  $\Theta$  es el tiempo,  $K_i$  la constante cinética y n el orden de reacción. La variación del parámetro de color se puede describir tanto con modelos cinéticos de orden cero y de primer orden. Con el fin de obtener la ecuación que da la variación del parámetro de color con el tiempo, es necesario integrar la ecuación arriba mencionado, aplicando la condición límite inicial, en la que para  $\Theta = 0$ ,  $P = P_o$ .

$$\text{Cinética de orden cero (n = 0): } P = P_o + K_o \Theta$$

$$\text{Cinética de primer orden (n = 1): } P = P_o \exp (k_1 \Theta)$$

En estas ecuaciones P y  $P_o$  representan el valor de la variable de color que se está estudiando para un tiempo cualquiera y el inicial, respectivamente, mientras que  $K_o$  y  $K_1$  son las constantes cinéticas de orden cero y primer orden, respectivamente, siendo  $\Theta$  el tiempo de reacción.

La forma de estas funciones para diferentes órdenes de reacción se muestra en el cuadro 8.

Cuadro 8. Ecuaciones para los parámetros de calidad en función del tiempo para diferentes órdenes de reacción.

Orden de Reacción n	Ecuación para A	Ecuación para B
0	$A_o - A = kt$	$B - B_o = kt$
1	$\ln(A_o / A) = kt$	$\ln(B / B_o) = kt$
$n \neq 1$	$1/A^{n-1} - 1/A_o^{n-1} = (n-1) kt$	$1/B_o^{n-1} - 1/B^{n-1} = (n-1) kt$

Fuente: Taoukis *et al.* (1997).

Manayay y Ibarz (2010), manifiestan que los estudios de modelamiento de la formación de color orientan a la conclusión de la existencia de una cinética de cero y primer orden respectivamente, siendo los factores que más influyen sobre las reacciones principalmente de Maillard; temperatura, la presencia de aminoácidos, la actividad de agua y el pH.

Gonzales et al (1988) citado por Manayay y Ibarz (2010), menciona que a través de un estudio teórico de aplicación de modelos cinéticos al pardeamiento no enzimático tiene un comportamiento de orden cero cuyo modelo de absorvancia es:

$$A = A_o + K*t$$

Ibarz et al (1993), sostiene que al tratar un jugo clarificado de melocotón de 64.5 °Brix, en diluciones de 15°, 30°, 45° y 55° a temperaturas de 100°, 102°, 104°, 106° y 108°, reportan que la variación de las constantes cinéticas de pardeamiento con la temperatura se ajustan al modelo exponencial tipo Arrhenius.

$$K = K_o.exp(Ea/RT)$$

### III. ANTECEDENTES

Ibarz, A y Narvaez, J. (1995), estudiaron la cinética de pardeamiento no enzimático de zumos clarificados de manzana de dos variedades (Granny Smith y Jonagold), con diferentes contenidos en sólidos solubles y a distintas temperaturas (60, 70, 80, 85, 90, y 95°C). El seguimiento de la cinética se realizó midiendo la variación de la absorbancia a 420 nm ( $A_{420}$ ). De los distintos modelos cinéticos ensayados, se obtuvieron los mejores ajustes con el orden cero. El efecto de la temperatura sobre las constantes cinéticas puede describirse mediante ecuaciones tipo Arrhenius. El efecto del contenido en sólidos solubles sobre los parámetros de la ecuación de Arrhenius puede describirse mediante ecuaciones tipo potencial. Para el intervalo de concentraciones y temperaturas estudiadas, los zumos de la variedad Granny Smith Jonagold.

Manayay, D. y A. Ibarz (2010), en estudios de modelamiento de la formación de color y la definición del comportamiento reológico, concluyeron de la existencia de una cinética de cero y primer orden respectivamente, siendo los factores que más influyen sobre las reacciones principalmente de Maillard; temperatura, la presencia de aminoácidos, la actividad de agua y el pH, mientras que el comportamiento reológico se ve afectado por la temperatura, concentración de sólidos y el tamaño de las partículas que conforman la suspensión en el caso específico de las pulpas.

Ibarz-Martínez et al (2010), concluyeron que el pardeamiento de los zumos de limón se ve favorecido por el aumento del contenido en sólidos solubles y por la temperatura de tratamiento; (b) la evolución de  $A_{420}$  y  $L^*$  con el tiempo de tratamiento puede

## IV. MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo de investigación se realizó en los laboratorios de la escuela de Ingeniería Agroindustrial como Operaciones Unitarias, Análisis y Composición de Productos Agroindustriales y en el Instituto de Investigación Tecnológico Agroindustrial,

### 4.1. MATERIALES

#### Muestra

Las muestras de estudio fueron frutos de maracuyá de la variedad amarilla procedente del valle de Vinzos del distrito de Santa de la provincia del Santa departamento de Ancash.

#### Reactivos:

- Agua destilada
- Acido oxálico
- Colorante 2,6 diclorofenolindofenol.
- Glucosa
- NaOH 0.1N
- Fenolftaleína

#### Equipos:

- Evaporador de doble efecto de película ascendente. Marca Electronica Veneta. Mod. SCTO3/EV.
- Balanza Analítica marca OHAUS de 0,0001 g de precisión
- Estufa
- Desecadores
- Centrifuga
- Selladora
- Refráctometro **ABBE**
- Colorímetro: **CHROMA METER CR-400**
- Espectrofotómetro: **SPECTRONIC 20D**

- pH-metro: **Modelo P4-506. CRISON**

#### **Materiales de vidrio y otros**

- Vasos de precipitación de 100 y 1000 ml
- Pipetas 1-10 ml
- Tubos de prueba
- Cuchillo, coladores.
- Bolsa de polietileno

#### **4.2 METODOLOGIA**

La metodología empleada en el presente trabajo de investigación, se muestra en la siguiente figura:

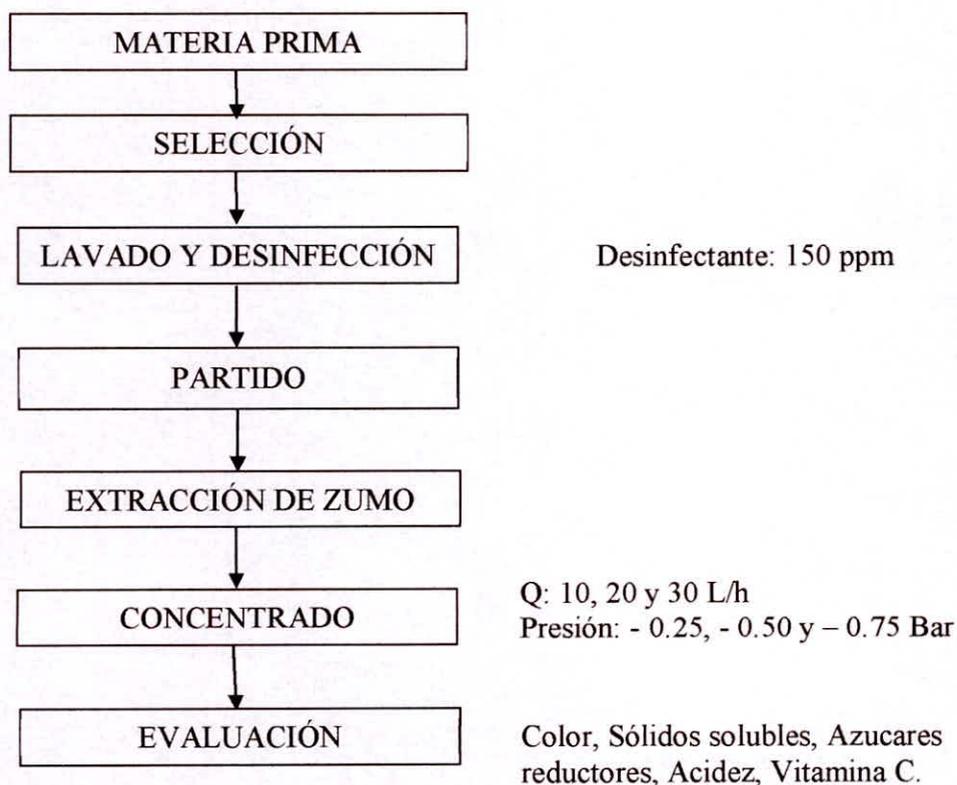


Figura 6. Diagrama de flujo del experimento.

### **4.3 DESCRIPCIÓN DEL EXPERIMENTO**

Según la figura 6, el experimento realizado comprendió las siguientes etapas:

#### **Materia Primas**

El maracuyá con grado de madurez comercial, procedente del valle del Distrito de Cambio Puente, Provincia del Santa, Región Ancash fue recepcionado en lotes de 70Kg.

#### **Selección**

Del lote recepcionado, se realizó el muestreo y selección en base a criterios de homogeneidad (grado de madurez) y a los parámetros de calidad, eliminándose aquellas que presentaron daños mecánicos, sobre madurez y con algún síntoma de contaminación microbiana.

#### **Lavado y Desinfección**

Empleando agua corriente y un detergente comercial (hipoclorito de sodio al 2%) se realizó el lavado y desinfección de la fruta a nivel superficial.

#### **Partido y Extracción del zumo**

Manualmente empleando cuchillos de acero inoxidable se realizó el corte en forma transversal a la fruta en dos mitades y mediante utensilios (cuchara de acero inoxidable) será extraído la pulpa y pasados por una refinadora de paletas y tamizada en malla fina, a fin de separar las semillas y liberar el zumo de maracuyá.

#### **Concentrado**

El zumo mediante el evaporador de doble efecto fue concentrado a diferentes caudales de alimentación (10, 20 y 30 L/h) y Presiones de vacío (-0.25, -0.5 y -0.75Bar),

#### **Evaluación**

Durante el proceso de evaporación se tomaron muestras a los tiempos de 0, 10, 20, 30 y 40 min. A partir de estas muestras tomadas, mediante alícuotas se realizarán los análisis físicoquímicos de Ácido ascórbico, Sólidos solubles, Acidez, Azúcares Reductores y Absorbancia.

#### 4.4 DISEÑO EXPERIMENTAL

Los ensayos experimentales de este trabajo se ajustaron a la siguiente disposición o condiciones de operación del evaporador de doble efecto, que se detalla en el cuadro 9.

Cuadro 9. Diseño experimental

Presión externa (B) (Bar)	Caudal de alimentación (A)		
	Caudal de alimentación (L/h.)	Caudal de alimentación (L/h.)	Caudal de alimentación (L/h.)
	10	20	30
-0.25	r1	r1	r1
	r2	r2	r2
	r3	r3	r3
-0.5	r1	r1	r1
	r2	r2	r2
	r3	r3	r3
-0.75	r1	r1	r1
	r2	r2	r2
	r3	r3	r3

Los resultados fueron procesados utilizando el software de la hoja de cálculo de Excel. En todos los ajustes que se realizaron, los intervalos de confianza fueron en un nivel de significación del 95%; tanto los tratamientos como los análisis de las muestras se realizaron por triplicado. El diseño experimental a desarrollar corresponde a un arreglo factorial 3 x 3 con 3 repeticiones en D.C.A., donde los tratamientos fueron las combinaciones entre los niveles de los factores A y B.

#### 4.5 MODELO ESTADISTICO

El modelo estadístico que permitió evaluar el efecto de las variables independientes sobre las variables respuestas es:

$$Y_{ij} = \mu + A_i + B_j + (AB)_{ij} + E_{ij}$$

#### 4.6 ANALISIS DE VARIANZA

Mediante el análisis de varianza se probó la hipótesis del estudio, donde se aplicó la prueba estadística F, tanto para los factores en forma independiente así como en interacción, conforme se muestra en el cuadro 10.

Cuadro 10. ANAVA para evaluar el efecto de las variables de estudio en el pardeamiento no enzimático del zumo concentrado de maracuyá

Fuente de variabilidad	GI	SC	CM	Fexp	Ft (5%)	Ft (1%)	SIG
Efecto de A (Caudal de alimentación)	2						
Efecto de B (Presión externa)	2						
Efecto de interacción AB	4						
Error experimental	18						
<b>Total</b>	<b>26</b>						

#### 4.7. ANALISIS CONTROL

- **DETERMINACIÓN DE LA ACIDEZ**

La acidez total fue determinada según el método AOAC N° 950.07 (1984). Sus resultados son expresados en porcentaje de ácido cítrico.

$$\% \text{ Acidez} = \frac{V_{(\text{Gasto de NaOH})} * N_{(\text{NaOH})} * \text{Meq}(\text{Ácido cítrico})}{V_{\text{Muestra}}} * 100$$

- **DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS SOLUBLES**

El porcentaje de sólidos solubles fue determinado directamente por lectura en el refractómetro de precisión ABBE.

- **DETERMINACIÓN DE COLOR**

Se determinó mediante la lectura de la absorbancia a 420 nm de longitud de onda aplicado por Ibarz, A y Narvaez, J. (1995).

- **DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE ACIDO ASCORBICO**

Para la determinación de vitamina C, se empleó el método espectrofotométrico propuesto por el departamento de Agricultura de Canadá, basado en la reducción del colorante 2-6 Diclorofenolindofenol por efecto de la solución del ácido ascórbico.

- **DETERMINACIÓN DE AZUCARES REDUCTORES**

Para la determinación de azúcares reductores se aplicó el método de colorimetría DNS (Acido 3,5 dinitrosalicílico) usando el espectrofotómetro Modelo Spectroni 20D.

#### 4.8. TECNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

Se procesó y analizó la información empleando el paquete informático de la hoja de cálculo EXCEL

## V. RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 5.1. Características fisicoquímicas del zumo de maracuyá

El maracuyá empleado en el presente trabajo fue de color amarillo (*Passiflora edulis*) el cual concuerda con la descripción realizada por Fagiani et. Al (1988), asimismo la forma fue de redonda a ovalada, con aroma y acidez característicos conforme lo describe Salazar y Torres (1977) y Osorio (1981), respectivamente.

La pulpa contenida en el fruto fue de rojiza a amarilla conteniendo semillas oscuras a negras, confirmándose así con lo vertido por Calzada (1970).

Según el cuadro 11, el fruto de maracuyá procedente del valle de Vinzos, usado en el presente estudio pesó en promedio 96.83 g, que comparado con los 100.07g reportado por De la Cruz et al (2010), tuvo 3.24g menos, diferencia relativamente muy baja, debida a las diferentes alturas, precipitaciones, temperaturas y horas de exposición a la radiación solar. Estas variaciones ligeras, también se presentaron en la composición general del fruto, con 47.95%, 24.14 y 27.91 de cascara, zumo y semilla con respecto al 50.3%, 23.2% y 26.2% reportado por Ferrari et al (2001).

Cuadro 11. Características fisicoquímicas del maracuyá

Parámetro	Valor
Peso fruto (g)	96.83±5.47
%Cascara	47.95±1.11
%Zumo	24.14±0.90
%Semilla	27.91±0.49
°Brix	16.38±0.32
pH	2.64±0.16
Densidad del zumo (g/ml)	1.003±0.002
Viscosidad (CPS)	19.00±0.03
Acidez (g ácido cítrico/100ml)	5.17±0.27
Índice de Madurez	3.18±0.14
Azúcares reductores (g/L)	5.56±0.11
Ácido ascórbico (mg/100ml)	39.04±0.23

Con respecto a los °Brix, y acidez titulable, el maracuyá de acuerdo al cuadro 11, tuvo en promedio 16.38 y 5.17g ácido cítrico/100ml respectivamente, valores muy próximos a los resultados de índice de madurez de Rodríguez, L. et al (2010), el cual, determinó tres estados de madurez (2,3 y 5), concordando con el estado de madurez 5, con índice de madurez 3.18.

Por otro lado, el zumo de maracuyá, con 39.04 mg/100ml, demostró ser más rico en ácido ascórbico que lo reportado por García (2002) y la revista Alimentos y vitaminas (2016). Asimismo, en cuanto al contenido en azúcares reductores, el zumo contuvo 5.56 g/L, muy por debajo con respecto a lo analizado por García (2002) que fue de 5.0 – 9.2%.

Otras de las características muy importantes a tener en cuenta en la evaporación son la densidad de 1.003 g/ml y 19.00 CPS de viscosidad quienes van a repercutir tanto en el comportamiento de flujo y transferencia de calor, conforme menciona Campos (2008), que cuando el fluido es menos denso el flujo es menor y si es más denso el flujo es mayor. De acuerdo a lo manifestado por Brennan (1998), durante la evaporación, se presentan cambios en la densidad y viscosidad, debido a la eliminación de agua, y de esta manera origina una reducción del coeficiente de transmisión de calor, como tal, se reduce la velocidad de transmisión de calor, afectado en este caso significativamente en la conservación de las características organolépticas y composición química del zumo de maracuyá.

## **5.2. Cinética de pardeamiento no enzimático del zumo de maracuyá**

En los cuadros 12, 13, 14, 15 y 16 se presentan el perfil de temperaturas, y el comportamiento de los °Brix, la Absorbancia, los azúcares reductores y ácido ascórbico respectivamente durante la concentración producida por evaporación en un sistema de doble efecto de película ascendente al variar la presión de vacío en -0.25, -0.5 y -0.75Bar y el caudal o flujo másico de alimentación de 10, 20 y 30L/h, condiciones que han permitido conocer la influencia en la cinética de pardeamiento no enzimático, los mismos que se describe a continuación.

### **5.2.1. Perfil de temperaturas durante la concentración**

Según el cuadro 12 y figuras 7, 8 y 9, bajo el sistema del evaporador de doble efecto, las temperaturas en el zumo de maracuyá mostraron un incremento en los 10 primeros minutos y luego disminuyó conforme la presión de vacío se incrementó. Con un caudal de 10L/h, de los 20°C de entrada a -0.25Bar subió hasta 96.6°C y a los 40 minutos de concentración disminuyó a 93.00, a -0.5Bar, se presentó similar comportamiento, sin embargo, por efecto del incremento de la presión de vacío, la temperatura a los 40 minutos, alcanzó a 77.6°C y a -0.75Bar la temperatura final fue 63.00°C, es decir, una diferencia de 30°C menos que a -0.25Bar, una reducción muy significativa de la temperatura que favorece a la conservación del color y características fisicoquímicas del zumo de maracuyá, resultados que demuestran la relación inversa que existe entre la presión atmosférica y la temperatura. En la misma forma, el incremento del caudal bajo cada nivel de presión de vacío, influenció en la disminución de la temperatura. La temperatura más baja de 59 °C se alcanzó a -0.75Bar con 30L/h de caudal de alimentación.

Cuadro 12. Perfil de temperaturas según caudal de alimentación y presión de vacío durante la concentración

Presión de vacío (B) (Bar)	Tiempo (Min)	Caudal de alimentación (A)		
		Caudal de alimentación (L/h.)	Caudal de alimentación (L/h.)	Caudal de alimentación (L/h.)
		10	20	30
-0.25	0	20.00	20.00	20.00
	10	96.60	93.00	90.60
	20	97.00	94.40	92.20
	30	93.40	91.90	89.00
	40	93.00	88.80	83.80
-0.5	0	20.00	20.00	20.00
	10	75.50	74.50	73.30
	20	79.80	78.00	77.10
	30	78.10	77.10	75.00
	40	77.60	76.90	72.90
-0.75	0	20.00	20.00	20.00
	10	61.50	60.00	59.00
	20	63.30	62.60	62.00
	30	63.20	62.40	60.00
	40	63.00	62.00	59.00

En las figuras 7, 8 y 9 se corrobora lo descrito en el cuadro 12; se observa que durante la evaporación (40 minutos), bajo las tres condiciones de presión (-0.25; -0.5 y -0.75Bar) las temperaturas fueron disminuyendo conforme se incrementó el caudal (10L/h, 20L/h, 30L/h) desde 93°C hasta 59°C. Asimismo, se observa un incremento rápido de la temperatura con la que ingresa la alimentación de 20°C a los 10 minutos se incrementa proporcionalmente de acuerdo a la presión de vacío, siendo de 96.6°C, 75.5°C y 61.5°C a -0.25, -0.5 y -0.75Bar respectivamente.

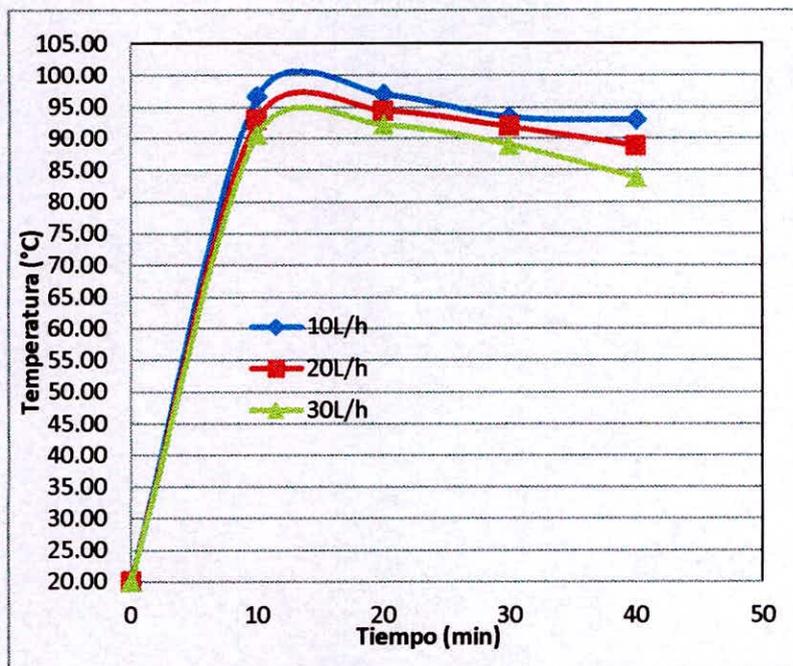


Figura 7. Perfil de temperaturas según caudal a -0.25Bar

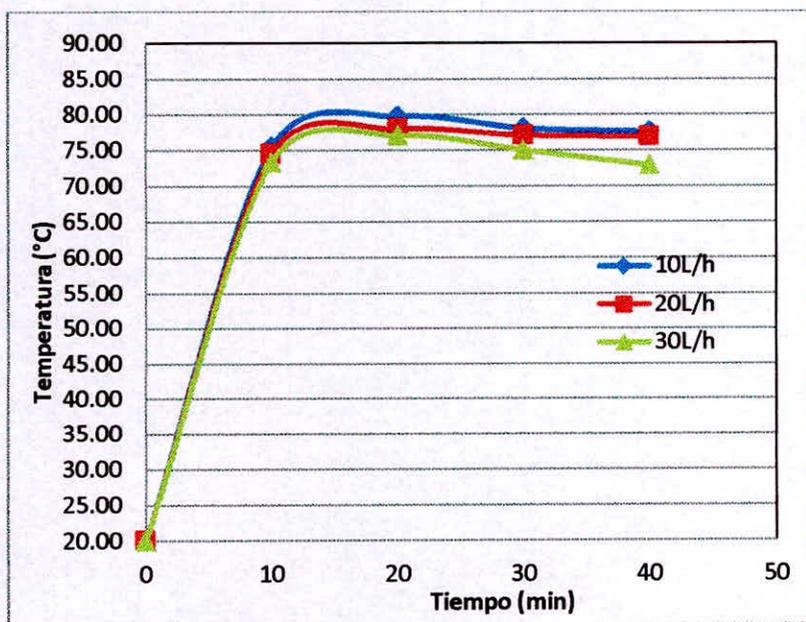


Figura 8. Perfil de temperaturas según caudal a -0.50Bar

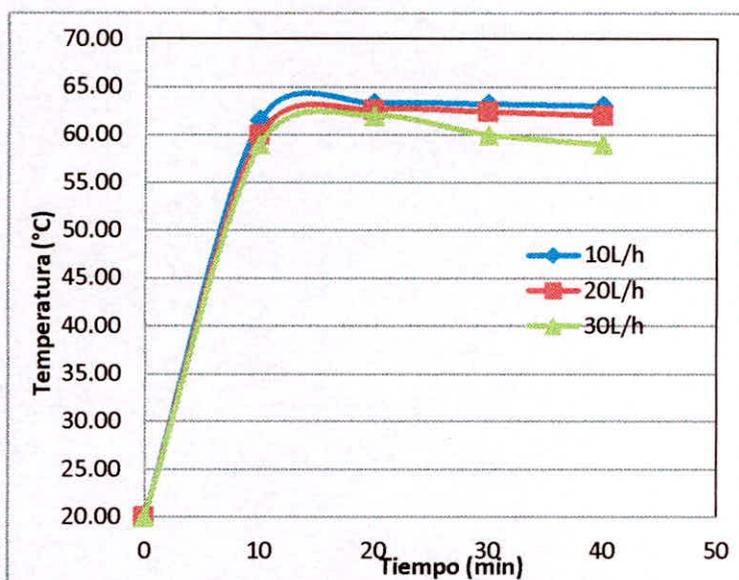


Figura 9. Perfil de temperaturas según caudal a -0.75Bar

### 5.2.2. Sólidos solubles (°Brix) durante la concentración

En relación a los °Brix del zumo de maracuyá, en el cuadro 13, se observa que durante la concentración, conforme se incrementa la temperatura desde 10 hasta los 40 minutos, la concentración de sólidos solubles también se incrementa. A -0.25Bar y caudal de 10L/h a los 10 minutos el zumo presentó 18.24°Brix y a los 40 minutos bajo las mismas condiciones fue de 24.65°Brix, este comportamiento fue similar pero en mayor magnitud cuando la evaporación se realizó a -0.5 y -0.75Bar, donde a los 40 minutos, los °Brix alcanzados fue de 30.85 y 32.89 respectivamente, es decir, que la velocidad de transferencia de masa fue mayor, por efecto de la mayor velocidad de transferencia de calor a mayor presión de vacío.

Cuadro 13. °Brix según caudal de alimentación y presión de vacío durante la concentración

Presión de vacío (B) (Bar)	Tiempo (Min)	Caudal de alimentación (A)		
		Caudal de alimentación (L/h.)	Caudal de alimentación (L/h.)	Caudal de alimentación (L/h.)
		10	20	30
-0.25	0	16.38	16.38	16.38
	10	18.24	17.56	17.12
	20	21.26	19.87	18.42
	30	24.34	22.45	20.71
	40	24.65	22.83	20.94
-0.5	0	16.38	16.38	16.38
	10	19.46	18.89	17.68
	20	22.68	21.64	19.42
	30	29.34	25.84	22.34
	40	30.85	27.25	23.37
-0.75	0	16.38	16.38	16.38
	10	21.63	20.45	18.96
	20	23.56	22.19	21.46
	30	31.13	27.64	25.63
	40	32.89	29.26	26.87

Lo descrito en el cuadro 13, se observa en las figuras 10, 11 y 12, donde se contrastan los °Brix alcanzados de acuerdo a los caudales de alimentación por cada nivel de presión de vacío. La concentración de sólidos solubles fue aumentando desde que ingreso la alimentación a la cámara de evaporación de acuerdo a la presión de vacío. En la figura 10, a -0.25Bar los °Brix aumentaron hasta los 40 minutos en 32.89°Brix a 10L/h, luego disminuyó a 22.83 y 20.94°Brix por efecto del incremento del caudal a 20 y 30L/h respectivamente. Similar comportamiento pero en mayor magnitud se presentó con -0.5 y -0.75Bar a diferentes caudales, conforme se observa en las figuras 11 y 12, tal disminución se debe que a mayor caudal o flujo másico de alimentación, el coeficiente y velocidad de transferencia de calor disminuye.

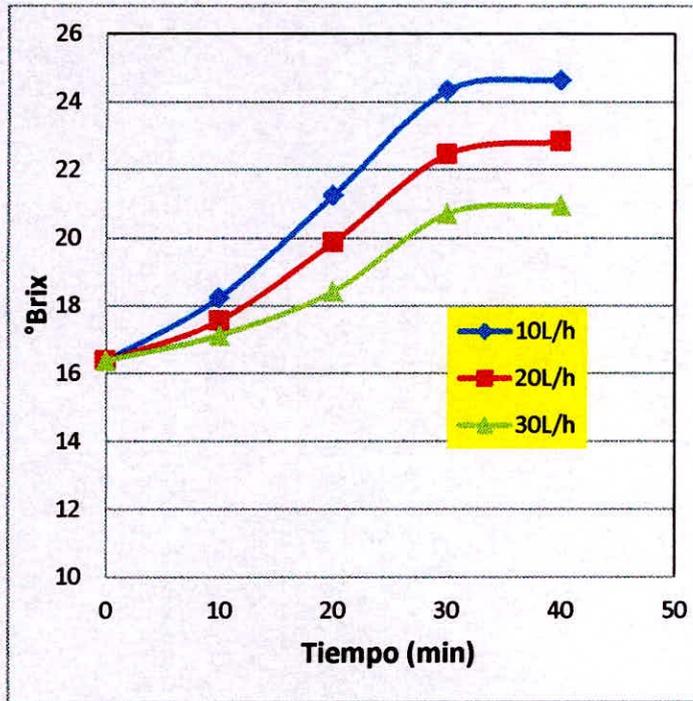


Figura 10. °Brix según caudal a -0.25Bar

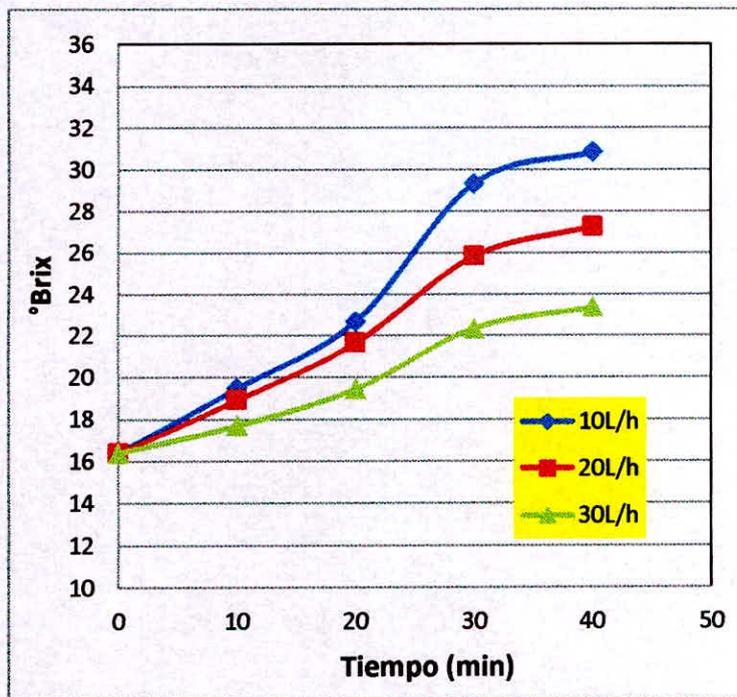


Figura 11. °Brix según caudal a -0.50Bar

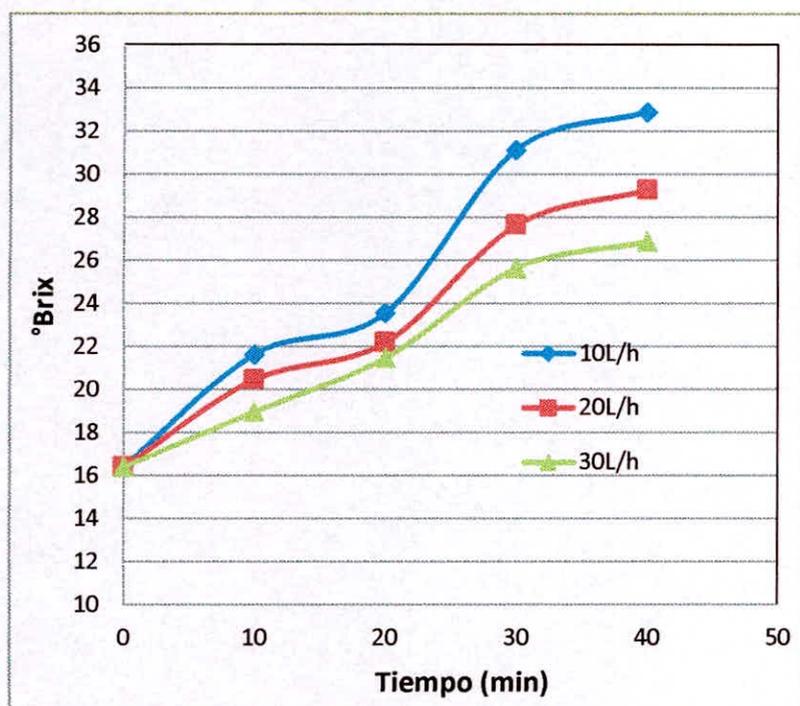


Figura 12. °Brix según caudal a -0.75Bar

### 5.2.3. Evaluación de la absorbancia

Como resultado del pardeamiento no enzimático se tiene a la absorbancia medida a cada una de las muestras recolectadas durante la evaporación desde los 0 hasta 40 minutos, bajo las diferentes condiciones de presión de vacío y caudal de alimentación. Los resultados mostrados en el cuadro 14, muestran que conforme el zumo de maracuyá recibió calor durante los 40 minutos, el incremento de su absorbancia, se presentó en mayor magnitud a -0.25Bar con valores de 1.729, 1.685, 1.623, luego los zumos sometidos a -0.50Bar con 1.666, 1.578, 1.529 y finalmente aquellos zumos dispuestos a -0.75Bar con 1.649, 1.562 y 1.479 cuando los caudales de alimentación fueron a 10, 20 y 30 L/h respectivamente.

Cuadro 14. Absorvancia según caudal de alimentación y presión de vacío durante la concentración

Presión de vacío (B) (Bar)	Tiempo (Min)	Caudal de alimentación (A)		
		Caudal de alimentación (L/h.)	Caudal de alimentación (L/h.)	Caudal de alimentación (L/h.)
		10	20	30
-0.25	0	1.274	1.274	1.274
	10	1.648	1.602	1.568
	20	1.682	1.633	1.584
	30	1.697	1.654	1.599
	40	1.729	1.685	1.623
-0.5	0	1.274	1.274	1.274
	10	1.503	1.432	1.386
	20	1.564	1.475	1.423
	30	1.631	1.556	1.513
	40	1.666	1.578	1.529
-0.75	0	1.274	1.274	1.274
	10	1.464	1.416	1.344
	20	1.553	1.489	1.394
	30	1.588	1.523	1.446
	40	1.649	1.562	1.497

La absorvancia se manifiesta cuando a través del espectrofotómetro detecta la variación del color en una suspensión como es el caso en esta investigación, que previo acondicionamiento de la muestras mediante filtración y centrifugación fueron lecturadas a 420nm. Dicha variación de color es producto del pardeamiento no enzimático producido por la presencia de azúcares reductores y proteínas, el cual como resultado de la reacción entre ellos, en presencia y transmisión del calor, se producen compuestos coloreados denominados melanoidinas, que le van a conferir colores más oscuros al zumo de maracuyá durante la evaporación, más aun si estas, muestras aumentan su concentración de sólidos, como lo mostrado con los °Brix.

En las figuras 13, 14 y 15, en general se muestran como la absorbancia aumenta rápidamente en los 10 primeros minutos de evaporación y luego a los 20, 30 y 40 disminuye con tendencia a mantenerse constante, debido a la disminución de la concentración de azúcares reductores y al límite máximo de temperaturas a los 40 minutos de evaporación, es decir, que la temperatura según la presión de vacío y caudal de alimentación no es incrementada. Similar comportamiento se refleja tanto a los -0.25, -0.5 y -0.75Bar, siendo la absorbancia inversamente proporcional tanto a la presión de vacío y al caudal de la alimentación. Estos resultados concuerdan con el comportamiento del perfil de temperaturas y °Brix durante la evaporación.

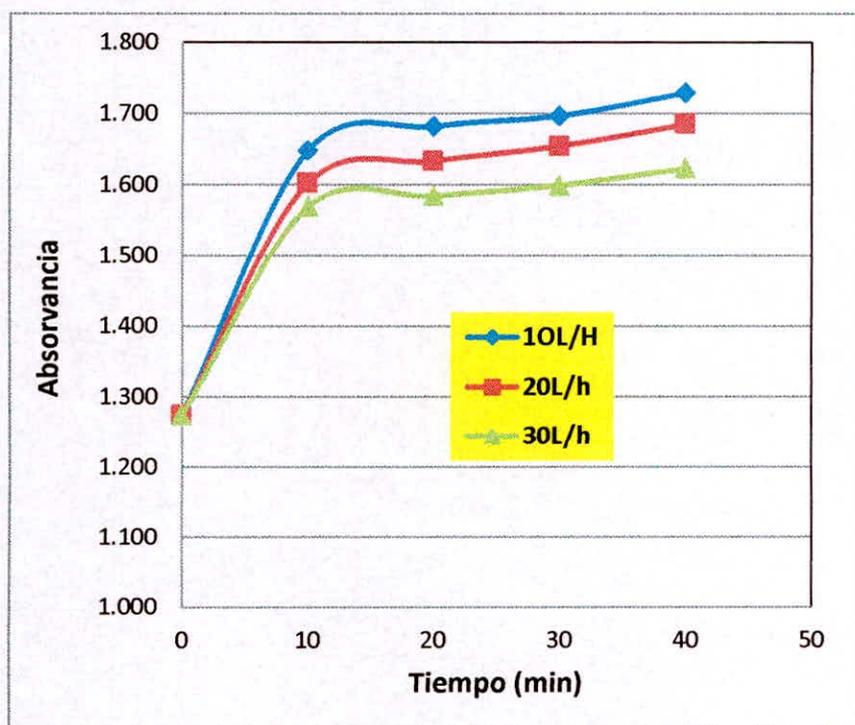


Figura 13. Evolución de la absorbancia según caudal a -0.25Bar

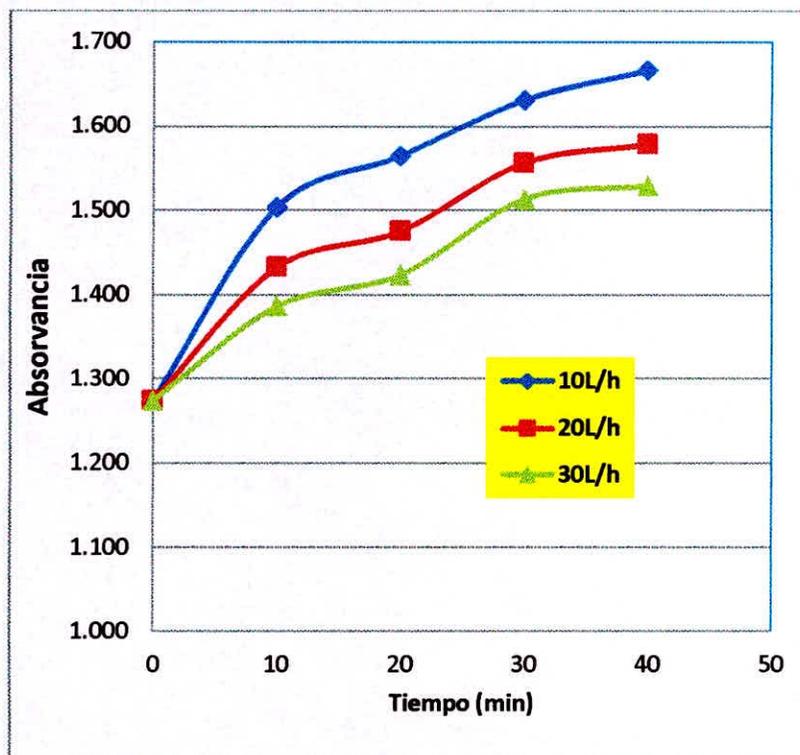


Figura 14. Evolución de la absorbancia según caudal a -0.50Bar

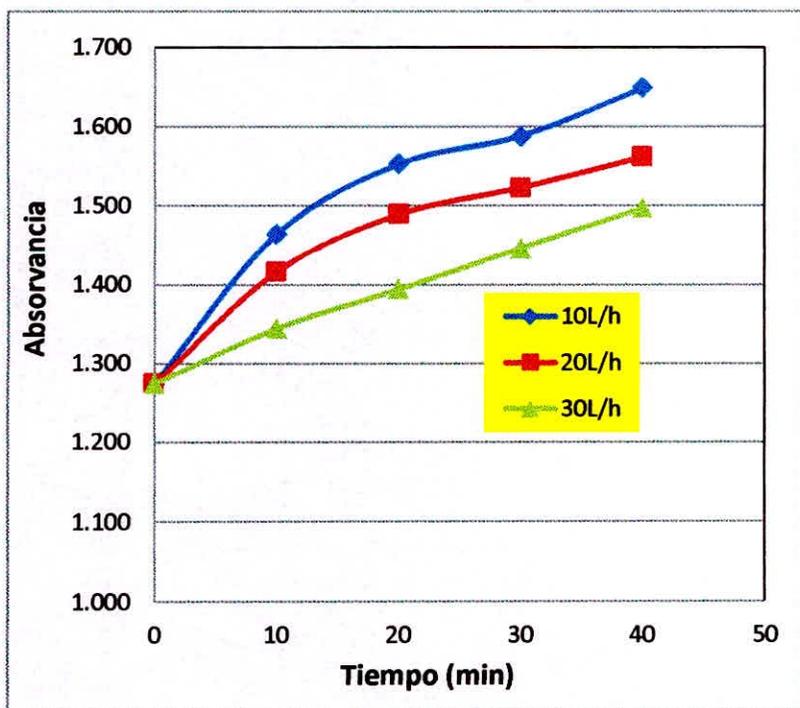


Figura 15. Evolución de la absorbancia según caudal a -0.75Bar

#### 5.2.4. Evaluación de azúcares reductores

En contraste con los °Brix y la absorbancia se observa comportamiento similar con los azúcares reductores sometido a diferentes presiones de vacío y caudales de alimentación. Los zumos de maracuyá inicialmente presentaron 5.56g/L de azúcares reductores, esta concentración disminuyó a manera que el zumo estuvo dispuesto hasta los 40 minutos. Según el cuadro 15, la mayor reducción de azúcares reductores se produjo a -0.25Bar, debido a que con esta presión de vacío, el perfil de temperaturas fue mayor que a -0.5 y -0.75Bar. Con respecto al caudal de alimentación, a medida que este se incrementó, la reducción de azúcares fue menor, debido a que a mayor caudal, el flujo porta mayor masa el cual conlleva a una disminución de la velocidad y transferencia de calor. A los 40 minutos, a -0.25Bar se redujo de 5.56 a 2.65, 3.56 y 4.57 conforme se incrementó el caudal de 10, 20 y 30L/h respectivamente. A -0.5Bar se redujo de 5.56 a 5.02, 5.12 y 5.21 conforme se incrementó el caudal de 10, 20 y 30L/h respectivamente y a -0.75Bar se redujo en menor proporción de 5.56 a 5.12, 5.24 y 5.30 conforme se incrementó el caudal de 10, 20 y 30L/h respectivamente, debido a que a mayor presión de vacío el punto de ebullición dentro de la cámara de evaporación fue menor.

Cuadro 15. Azúcares reductores (g/L) según caudal de alimentación y presión de vacío durante la concentración

Presión de vacío (B) (Bar)	Tiempo (Min)	Caudal de alimentación (A)		
		Caudal de alimentación (L/h.)	Caudal de alimentación (L/h.)	Caudal de alimentación (L/h.)
		10	20	30
-0.25	0	5.56	5.56	5.56
	10	4.92	5.17	5.41
	20	4.15	4.77	5.26
	30	3.34	4.17	4.57
	40	2.65	3.56	4.02
-0.5	0	5.56	5.56	5.56
	10	5.42	5.47	5.52
	20	5.28	5.35	5.42
	30	5.17	5.22	5.31
	40	5.02	5.12	5.21
-0.75	0	5.56	5.56	5.56
	10	5.47	5.49	5.54
	20	5.36	5.42	5.46
	30	5.24	5.32	5.38
	40	5.12	5.24	5.30

Las figuras 16, 17 y 18, reflejan claramente un comportamiento lineal con respecto a la reducción de azúcares reductores en cada presión de vacío. Es decir, que existe una proporcionalidad en la disminución de azúcares reductores con respecto a las presiones de vacío de -0.25, -0.5 y -0.75Bar. En dichas figuras se observa que las mayores velocidades de reducción de azúcares reductores a las tres condiciones de presión de vacío se presentan a caudal de alimentación de 10L/h, le sigue a 20L/h y con menor pérdida o reducción de azúcares reductores a 30L/h.

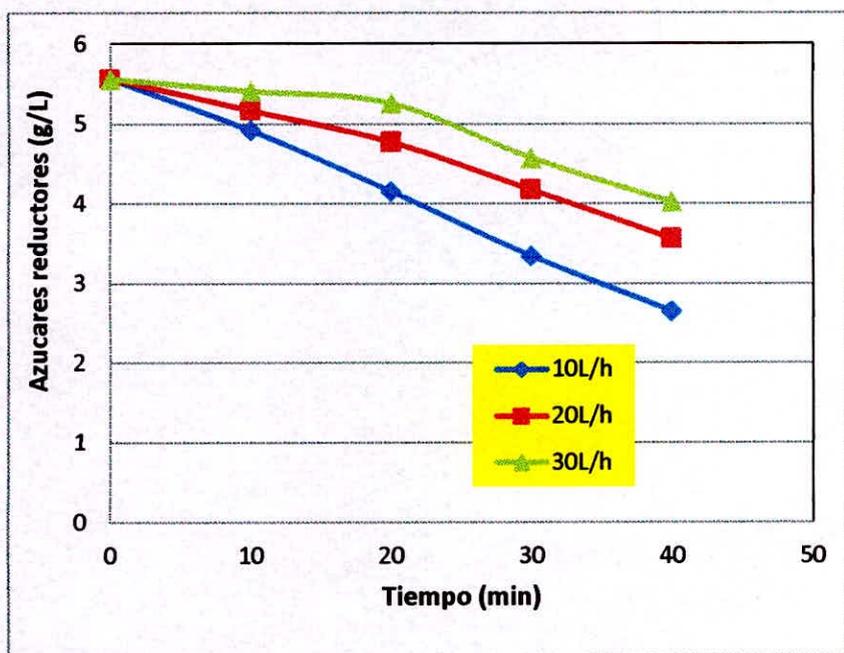


Figura 16. Evolución de azúcares reductores según caudal a -0.25Bar

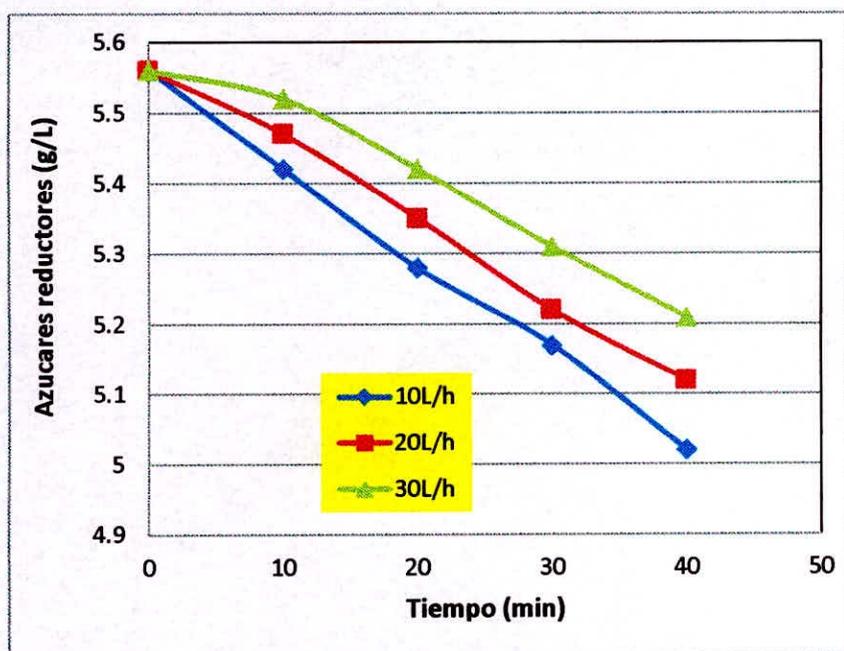


Figura 17. Evolución de azúcares reductores según caudal a -0.50Bar

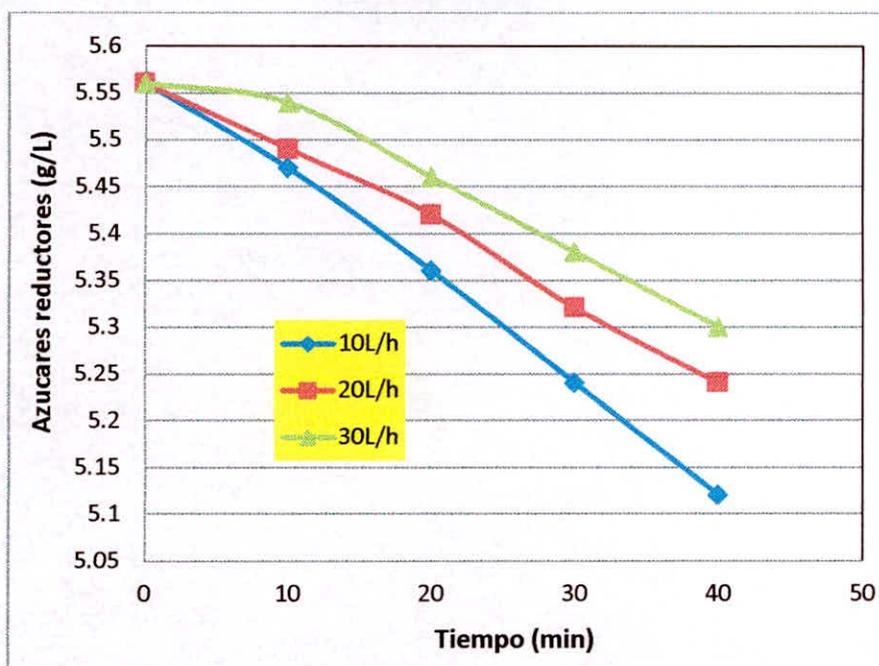


Figura 18. Evolución de azúcares reductores según caudal a -0.75Bar

### 5.2.5. Evaluación del Ácido ascórbico

Producto de la transferencia de calor acompañado con el pardeamiento no enzimático, el zumo de maracuyá sufre degradación o deterioro del ácido ascórbico. La concentración de 39.04 mg ácido ascórbico por 100ml de zumo por efecto del calor, disminuyó en mayor proporción encontrándose la cámara de evaporación a -0.75Bar que a -0.25Bar. Siendo un factor importante la temperatura en la degradación, más que el ácido ascórbico es considerado como termolábil, debido a que por arriba de 50°C se deteriora fácilmente. Los resultados mostrados en el cuadro 16, muestran que la concentración de ácido ascórbico a -0.25 Bar luego de 40 minutos de concentración y a 10, 20 y 30 L/h de caudal de alimentación fue de 20.02, 22.12 y 24.31mg/100ml respetivamente; a -0.50Bar fue de 22.97, 25.67 y 27.13 y finalmente a -0.75Bar solo se redujo a 31.48, 32.46 y 34.205mg/100ml de zumo.

Cuadro 16. **Ácido ascórbico** (mg/100ml) según caudal de alimentación y presión de vacío durante la concentración

Presión de vacío (B) (Bar)	Tiempo (Min)	Caudal de alimentación (A)		
		Caudal de alimentación (L/h.)	Caudal de alimentación (L/h.)	Caudal de alimentación (L/h.)
		10	20	30
-0.25	0	39.04	39.04	39.04
	10	35.12	36.18	37.89
	20	32.15	34.18	35.96
	30	29.61	31.52	32.68
	40	20.02	22.12	24.31
-0.5	0	39.04	39.04	39.04
	10	33.26	35.16	37.21
	20	30.61	32.18	35.20
	30	27.19	29.86	32.94
	40	22.97	25.67	27.13
-0.75	0	39.04	39.04	39.04
	10	36.21	37.54	38.98
	20	34.61	35.89	36.98
	30	33.28	34.12	34.99
	40	31.48	32.46	34.25

Según las figuras 19, 20 y 21, el deterioro del ácido ascórbico en el zumo del maracuyá se presenta bajo las tres presiones de vacío (-0.25, -0.5 y -0.75Bar) siendo mayor a -0.25Bar, debido al alto nivel de temperaturas desde 83.3 a 96.6°C, comparado con las temperaturas a -0.50Bar que fue desde 72.9 – 75.5°C y a -0.75Bar de 59.0 a 61.5°C, por ser termolábil el ácido ascórbico.

Por otro lado, también se observa en cada una de las presiones que conforme se incrementó el caudal de alimentación, la reducción de deterioro fue menor, ya que a mayor caudal significa mayor flujo másico, es decir, que a mayor masa por la misma superficie, el coeficiente y velocidad de transferencia de calor disminuye,

#### 5.4. Parámetros de la Ecuación de Arrhenius

A partir de los datos consignados en los cuadros 14, 15 y 16 se realizó el cálculo de los parámetros de la Ecuación de Arrhenius del zumo de maracuyá, dichos resultados se muestran en el cuadro 17. En este cuadro se observa que existe una relación inversa entre el caudal de alimentación y la energía de activación, es decir, que a medida que aumenta el caudal de alimentación en las tres variables (absorbancia, azúcares reductores y ácido ascórbico) estudiadas, la energía de activación disminuye. Bajo esta explicación para la absorbancia desde 10L/h hasta 30L/h de caudal de alimentación, la energía de activación decrece de 3841.65 a 2889.39, para los azúcares reductores se requiere menor energía de activación de 1155.61 a 1970.67 para producir deterioro o reacción y para el ácido ascórbico similar comportamiento, de 10 a 30L/h solo se requiere de 6990 a 4473.70.

Cuadro 17. Parámetros de la cinética de pardeamiento según variables

Variable	Caudal de alimentación (L/h)	Ea (kJ/mol)	Kb	r <sup>2</sup>
Absorbancia	10	3841.65	6.27	0.96
	20	3361.33	5.10	0.98
	30	2889.39	4.18	0.99
Azúcares reductores	10	1970.67	2.48	0.92
	20	1404.36	3.14	0.96
	30	1155.61	3.47	0.95
Ácido ascórbico	10	6990.17	2.29	0.91
	20	5664.41	3.90	0.92
	30	4473.70	6.30	0.93

## 5.5. Estadística de la Cinética de pardeamiento no enzimático del zumo de maracuyá

En base a los resultados experimentales se realizaron los análisis estadísticos para las variables que guardan relación directa con el pardeamiento no enzimático como la absorbancia, azúcares reductores y ácido ascórbico, los mimos que se presentan a continuación.

### 5.3.1 Análisis estadístico de la absorbancia del zumo de maracuyá

Según el cuadro 18, el análisis de varianza de la absorbancia demuestra estadísticamente que la presión de vacío, el caudal de alimentación y la interacción de estos, ejercen alta influencia significativa al ser confrontados mediante el valor de F experimental con los F tabulares al nivel de 1 y 5% de probabilidad. Es decir, que variaciones de -0.25Bar a -0.5 y -0.75 bar, así como los cambios de caudales de alimentación de 10, 20 y 30 L/h afectan al pardeamiento enzimático.

Cuadro 18. Análisis de varianza para evaluar la absorbancia

Fuente de variabilidad	Gl	SC	CM	F <sub>exp</sub>	F <sub>t</sub> (5%)	F <sub>t</sub> (1%)	SIG
Efecto de A	2	0.05126	0.0256	164.300	3.55	6.01	**
Efecto de B	2	0.05547	0.0277	177.789	3.55	6.01	**
Efecto de AB	4	0.00719	0.0017	11.5349	2.93	4.58	**
Error experimental	18	0.002808	0.000156				
<b>Total</b>	<b>26</b>	<b>0.116738</b>					

Con la confirmación de la alta diferencia significativa, se realizó la prueba de comparación de medias de Tukey, mostrado en el cuadro 19. Donde los resultados confirman lo determinado mediante el análisis de varianza. En este cuadro, se observa diferencia significativa entre los tres niveles de caudal de alimentación con respecto a la intensidad de pardeamiento, donde el zumo alimentado a 10L/h presentó mayor pardeamiento no enzimático con 1.545 de absorbancia, seguido los de 20 y 30L/h con 1.499 y 1.449 respectivamente. De la misma manera las presiones de -0.25, -0.5 y -0.75 Bar presentaron diferencias significativas, siendo la absorbancia mayor a -0.25 con 1.571 y menores a -0.5 y -0.75 con 1.472 y 1.45 respectivamente. En relación a la interacción, la prueba de comparación de medias refleja que el pardeamiento más intenso produjo una absorbancia de 1.604 cuando el zumo de maracuyá estuvo dispuesto a la presión de vacío de -0.25Bar y 10L/h, el cual confirma que a temperaturas altas y menores flujos másicos, se produce con mayor intensidad el pardeamiento no enzimático por la fácil transferencia de calor hacia el zumo en cámara de evaporación.

Cuadro 19. Prueba de Tukey para absorbancia

Orden	Tratamiento	Promedio	SIG
1	ao	1.545	a
2	a1	1.499	b
3	a2	1.449	c
Orden	Tratamiento	Promedio	SIG
1	bo	1.571	a
2	b1	1.472	b
3	b2	1.450	c
Orden	Tratamiento	Promedio	SIG
1	aobo	1.604	a
2	a1bo	1.580	b
3	a2bo	1.528	c
4	aob1	1.526	c
5	aob2	1.506	c
6	a1b1	1.464	d
7	a1b2	1.452	d
8	a2b1	1.427	d
9	a2b2	1.393	e

### 5.3.2. Análisis estadístico de azúcares reductores del zumo de maracuyá

Según el cuadro 20, el análisis de varianza de los azúcares reductores demuestra comportamiento similar a la absorbancia, es decir, que estadísticamente la presión de vacío, el caudal de alimentación y la interacción de estos, ejercen alta influencia significativa al ser confrontados mediante el valor de F experimental con los F tabulares al nivel de 1 y 5% de probabilidad. Resultados que se obtienen debido a que los azúcares reductores participan directamente en las reacciones de Maillard.

Cuadro 20. Análisis de varianza para evaluar azúcares reductores

Fuente de variabilidad	Gl	SC	CM	F <sub>exp</sub>	F <sub>t</sub> (5%)	F <sub>t</sub> (1%)	SIG
Efecto de A	2	2.8505	1.4252	56.6327	3.55	6.01	* *
Efecto de B	2	16.7151	8.3575	332.0809	3.55	6.01	* *
Efecto de AB	4	2.77658	0.6941	27.5813	2.93	4.58	* *
Error experimental	18	0.45301	0.0251				
<b>Total</b>	<b>26</b>	<b>22.7953</b>					

Confirmada la alta diferencia significativa, se realizó también la prueba de comparación de medias de Tukey, mostrado en el cuadro 21. En este cuadro, se observa diferencia significativa entre los tres niveles de caudal de alimentación con respecto a la intensidad de pardeamiento, donde el zumo alimentado a 10L/h presentó menor contenido de azúcares reductores (4.307mg/ml), porque la diferencia con la concentración inicial, participaron en las reacciones de Maillard. Similar comportamiento se refleja con respecto a las presiones, a presión de -0.25Bar los azúcares reductores se redujeron de 5.56 a 3.59 mg/ml.

Asimismo, con las interacciones, la prueba de comparación de medias refleja que el pardeamiento más intenso produjo una reducción de azúcares reductores de 5.56 a 2.65mg/ml cuando el zumo fue sometido a -0.25Bar y 10L/h y viceversa se redujo pero en menor proporción a 30L/h y -0.75Bar.

Cuadro 21. Prueba de Tukey para azúcares reductores

Orden	Tratamiento	Promedio	SIG
1	a2	5.102	a
2	a1	4.688	a
3	ao	4.307	b
Orden	Tratamiento	Promedio	SIG
1	b2	5.348	a
2	b1	5.157	a
3	b0	3.592	b
Orden	Tratamiento	Promedio	SIG
1	a2b2	5.428	a
2	a1b2	5.376	a
3	a2b1	5.322	a
4	aob2	5.240	a
5	a1b1	5.123	a
6	aob1	5.025	a
7	a2bo	4.557	b
8	a1bo	3.564	c
9	aobo	2.654	d

### 5.3.3 Análisis estadístico del ácido ascórbico del zumo de maracuyá

En relación al análisis de varianza del ácido ascórbico, en el cuadro 22, se muestra, que estadísticamente la presión de vacío, el caudal de alimentación y la interacción de estos, ejercen alta influencia significativa a la degradación del ácido ascórbico, es decir, que variaciones en estas variables, afectan al contenido de ésta vitamina, demostrándose que existe una relación entre la cinética de pardeamiento con la degradación del ácido ascórbico.

Cuadro 22. Análisis de varianza para evaluar ácido ascórbico

Fuente de variabilidad	Gl	SC	CM	Fexp	Ft (5%)	Ft (1%)	SIG
Efecto de A	2	65.78	32.89	123.51	3.55	6.01	**
Efecto de B	2	542.61	271.30	1018.70	3.55	6.01	**
Efecto de AB	4	3.63	0.907	3.408	2.93	4.58	**
Error experimental	18	4.79	0.266				
Total	26	616.82					

En el cuadro 23, se presenta la prueba de comparación de medias de Tukey para evaluar los tratamientos, donde se observa que existe diferencia significativa entre los tres niveles de caudal de alimentación con respecto a la degradación de ácido ascórbico, cuando el zumo fue alimentado a 10L/h, este presentó menor contenido de ácido ascórbico (0.908mg/100ml), a la presión de -0.25Bar el ácido ascórbico de 39.04mg/100ml se redujo a 22.033mg/ml. Con las interacciones, la prueba de comparación de medias refleja que la mayor degradación de ácido ascórbico de 39.04 a 19.77mg/100ml se produjo cuando el zumo de maracuyá fue sometido a -0.25Bar y 10L/h y viceversa la menor degradación se produjo a 30L/h y -0.75Bar. Resultados que demuestran que el ácido ascórbico también guarda relación con el pardeamiento no enzimático cuando es sometido a diferentes temperaturas y caudales de alimentación en la cámara de evaporación de un evaporador de doble efecto.

Cuadro 23. Prueba de Tukey para ácido ascórbico

Orden	Tratamiento	Promedio	SIG
1	ao	0.908	a
2	a1	3.631	a
3	a2	4.000	b

Orden	Tratamiento	Promedio	SIG
1	b2	32.733	a
2	b1	25.245	b
3	b0	22.033	c

Orden	Tratamiento	Promedio	SIG
1	a2b2	34.320	a
2	a1b2	32.465	a b
3	aob2	31.480	b
4	a2b1	27.119	c
5	a1b1	25.646	c
6	aob1	24.320	d
7	a2bo	22.971	e
8	a1bo	22.006	f
9	aobo	19.773	g

## VI. CONCLUSIONES

- Las características fisicoquímicas iniciales que presentó el zumo de maracuyá fueron: 16.38 de °Brix, 2.64 de pH, 5.17 g ácido cítrico/100ml de acidez, 5.56g/L de azúcares reductores y 39.04mg/100ml de ácido ascórbico.
- En la cámara del evaporador de doble efecto, el incremento del caudal de alimentación es directamente proporcional al incremento de la absorbancia e inversamente proporcional a la degradación del ácido ascórbico y a la reducción de azúcares reductores debido al pardeamiento no enzimático.
- Incrementos de la presión de vacío de -0.25, -0.5 a -0.75Bar produce perfiles menores de temperatura comparado con la presión atmosférica, y con ello, una menor intensidad del pardeamiento no enzimático, contrastado con la menor absorbancia y menor degradación del ácido ascórbico y azúcares reductores del zumo de maracuyá.
- El modelo matemático que gobierna la cinética de pardeamiento no enzimático determinado mediante absorbancia se ajusta a orden cero.
- La Energía de Activación calculada mediante la Ecuación de Arrhenius demuestra que a medida que se incrementan los caudales de alimentación se requiere menor energía para producir una reacción de pardeamiento no enzimático.
- Estadísticamente las presiones de vacío de -0.25, -0.5 y -0.75Bar, los caudales de alimentación de 10, 20 y 30L/h de alimentación ejercen de manera independiente y en interacción fuerte influencia en la cinética del pardeamiento no enzimático.

## **VII. RECOMENDACIONES**

- Con la finalidad de disminuir el pardeamiento no enzimático en el zumo de maracuyá, concentrar el zumo de maracuyá en evaporador de doble del modelo de película ascendente a -0.75Bar y 30L/h.
- Experimentar con otros equipos como el de membrana a fin de concentrar el zumo de maracuyá con la finalidad de disminuir más la producción de pardeamiento no enzimático.

## VIII. BIBLIOGRAFIA

- ADEX. (2014). Asociación de exportadores. Boletín Informativo. Lima. Perú. Agencia Peruana de Noticias.  
<http://www.portalfruticola.com/noticias/2014/06/17/peru-registra-record-en-exportacion-de-maracuya/>
- Badui, S. (2006). Química de los Alimentos. Edit. Alhambra. México, D.F. Pag. 640.
- Barbosa-Cánovas G.V. Vega-Mercado H. (2000).Deshidratación de Alimentos. Editorial ACRIBIA, S.A. Zaragoza (España).
- Brennan. J.G et al (1998). Las operaciones de la ingeniería de los alimentos. Editorial Acribia S.A. Zaragoza. España. Pag. 185-220.
- BHANDARI, Besh; DATTA, Nivedita and HOWES, Tony. Problems associated with spray drying of sugar-rich foods. En: Drying Technology. Vol. 15, No. 2; 1997; p. 671-684.
- Calzada, 1970. CALZADA, B.J. 1970. 143 frutales nativas. El maracuyá. Universidad Nacional Agraria, La Molina, Lima, Perú.
- Campos Lopez, O. (2008). Programa de Computo para dimensionar Medidores de Flujo por Presión Diferencial en líquidos. Instituto Politécnico Nacional. México. P. 8 – 10.
- CODEX ALIMENTARIOS – FAO (2005). Norma General del CODEX para zumos y néctares de frutas.
- Díaz, L; Padilla, C; Sepúlveda, C. (2006). Identificación del Principal Pigmento Presente en la Cáscara del Maracuyá Púrpura (*Passiflora edulis*).SciELO. Información Tecnológica-Vol. 17 N°6-2006, pág.: 75-84.
- García Torres M.A (2002). Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA). El Salvador.
- Ibarz Martínez, R. et al. (2010). Pardeamiento de zumos clarificados de limón tratados a altas temperaturas. Ciencia Agropecuaria. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Trujillo. Perú. Pag. 7-20.
- Jagtiani, J., Chan, H.T. y Sakai, W., “(1988). Tropical fruti procesing”, Pag. 149, Academic Press, Inc. New York, U.S.A.
- Labuza, T.P. (1984). Aplication of chemical kinetics to deterioration of foods. Journal of Chemical Education 61(4): 348-358.

- Lopez Acosta, E.A (2014). Simulador de un evaporador de simple efecto, para concentrar jugos de frutas y leche. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería de Alimentos. Universidad de Cordoba. Argentina. Pag. 130-150
- Mafart (1993). Ingeniería Industrial Alimentaria (Vol. Volumen I Procesos físicos de conservación). Zaragoza: Editorial Acribia S.A.
- Manayay, D e Ibarz, A. (2010). Modelamiento de la cinética de reacciones del pardeamiento no enzimático y el comportamiento reológico, en el proceso térmico de jugos y pulpas de fruta. UNS. Chimbote. Perú.
- Osorio, M.E., (1981).“Elaboración y características de jugo concentrado de maracuyá (*Pasiflora edulis*, var *flavicarpa* Degener)”,Tesis, Facultad de Agronomía, Departamento Agroindustria y Tecnología de Alimentos, Universidad de Chile, Chile.
- Pruthi, J.S., (1963). Physiology, chemistry and technology of passion fruit”, *Advances Food Research*, 12, 149 – 180.
- Puente, (1996). Tecnología de Conservas de frutas y Hortalizas. Edit. Acribia. Zaragoza. España.
- Taoukis, P.S.et al. (1997). Kinetics of food deterioration and shelf-life prediction. En K. J. Valentas, E. Rotstein, R. P. Singh, (eds.)*The Handbook Of Food Engineering Practice*, Ch. 9, CRC Press, N.Y., EEUU, 363-405.
- Vega, F. y Cortés, C., 1993). Caracterización química de las semillas y cáscaras del maracuyá púrpura (*Pasiflora edulis*) cultivado en la IV Región”, Tesis, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería en Alimentos, Universidad de La Serena, La Serena, Chile (1993).

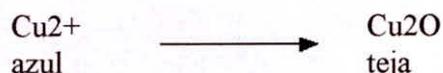
## ANEXOS

### Anexo 1

#### Fundamento de la determinación de azúcares reductores

Los monosacáridos y la mayoría de los disacáridos poseen poder reductor, que deben al grupo carbonilo que tienen en su molécula. Este carácter reductor puede ponerse de manifiesto por medio de una reacción redox llevada a cabo entre ellos y el sulfato de Cobre (II). Las soluciones de esta sal tienen color azul. Tras la reacción con el glúcido reductor se forma óxido de Cobre (I) de color rojo. De este modo, el cambio de color indica que se ha producido la citada reacción y que, por lo tanto, el glúcido presente es reductor.

Haremos la experiencia con varios azúcares, reductores y no reductores. Los azúcares reductores, reducen el ion  $\text{Cu}^{2+}$  (color azul) a óxido cuproso  $\text{Cu}_2\text{O}$  de color teja, y ellos se oxidan.



Si tras el experimento la disolución permanece azul, quiere decir que no tiene grupos reductores, mientras que la presencia de estos grupos dará lugar a la aparición del color rojo-amarillento-teja (más fuerte cuanto mayor sea la concentración de sustancias reductoras).

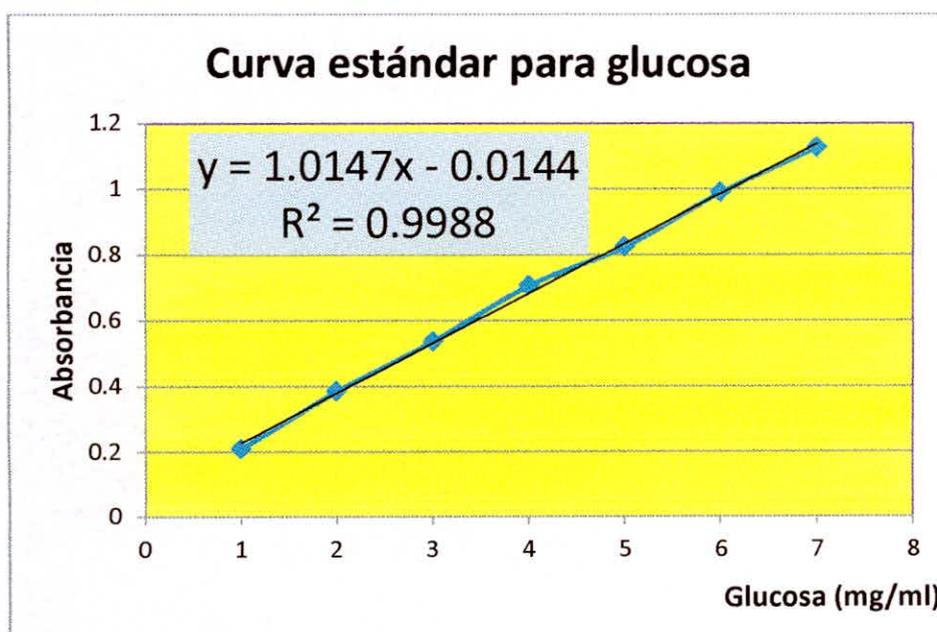
## Anexo 2.

### Determinación de azúcares reductores

- **Preparación del Reactivo DNS:**
  - Se mezcla y disuelve en 250 ml. de agua destilada 8 gr. de NaOH y 15 gr. de tartrato de Sodio y Potasio.
  - Posteriormente se agregan 5 gr. de Acido 3,5 dinotrasalicílico bajo calentamiento. Se aforan a 500 ml con agua destilada y se almacenan a temperatura ambiente protegiéndolo de la luz.
- **Solución estándar (madre) de glucosa (1.5mg/ml)**
  - Disolver 150 mg de glucosa en 100 ml de agua destilada.
- **Estándares de trabajo (ET)**
  - De la solución estándar de 1.5 mg/ml. de glucosa, llevar a tubos de prueba 0, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9 y 1.1ml. ( tubos 0, 1, 2, 3, 4 y 5) y preparar conforme al cuadro adjunto.
  - Todos los tubos llevar a baño maría durante 6 minutos, luego enfriar con agua corriente y realizar la lectura en el espectrofotómetro a 540 nm.

Tubo	Solución madre (ml)	DNS (ml)	Agua destilada	Total (ml)	[glucosa] (mg/ml)
0 (blanco)	0.0	2	2.2	4.2	0.000
1	0.3	2	1.9	4.2	0.205
2	0.5	2	1.7	4.2	0.341
3	0.7	2	1.5	4.2	0.477
4	0.9	2	1.3	4.2	0.614
5	1.1	2	1.1	4.2	0.750

N°	[x] [glucosa] mg/ml	[Y] Absorbancia (A)
1	0.0	0.00
2	0.3	0.278
3	0.5	0.472
4	0.7	0.709
5	0.9	0.904
6	1.1	1.102



#### Preparación de muestra y lectura en espectrofotómetro

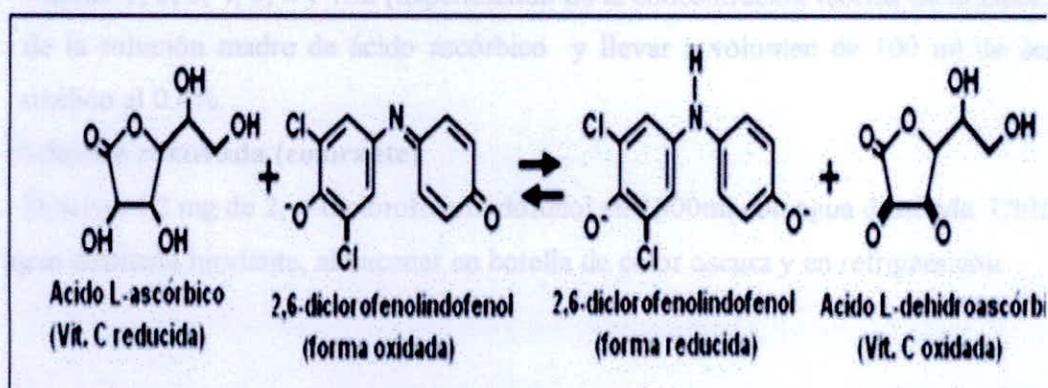
- a. Extraer el zumo de maracuyá, filtrar y medir su volumen (ml).
- b. Diluir 1 ml del zumo filtrado en una fiola de 100ml con agua destilada.
- c. Luego trasvasar 0.5 ml de la solución a un tubo de ensayo y adicionar 2 ml de DNS con 1.7 ml de agua destilada.
- d. Llevar a baño maría durante 6 minutos y luego enfriar con agua corriente y hacer la lectura (absorbancia) en el espectrofotómetro a 540 nm.

### Anexo 3

#### Fundamento de la determinación de ácido ascórbico

##### Determinación de ácido ascórbico

El ácido ascórbico o vitamina C, es una vitamina hidrosoluble presente en frutas y vegetales, es un antioxidante y captador de radicales libres, es esencial para mantener la integridad del organismo, en especial para la reparación de los tejidos y la formación de colágeno, funciona como un cofactor en diversas reacciones de hidrólisis y amidación.



##### Preparación de la Curva Estándar

1. Preparar 4 tubos de prueba y numerarlos de I al IV y agregar lo siguiente:

I. 1 ml de solución de Vit. C (100 µg/ml) + 9 ml de agua destilada

II. 1 ml de solución de Vit. C (100 µg/ml) + 9 ml de agua destilada

III. 1 ml de solución de Vit. C (100 µg/ml) + 9 ml de agua destilada

IV. 1 ml de solución de Vit. C (100 µg/ml) + 9 ml de agua destilada + 9 ml de agua destilada

V. 1 ml de solución de Vit. C (100 µg/ml) + 9 ml de agua destilada + 9 ml de agua destilada

2. Medir a 520 nm la absorbancia con solución del tubo I a  $\lambda=520$  nm:

3. Leer la absorbancia (L1)

4. Leer la absorbancia (L2)

5. Leer la absorbancia (L3)

### **Preparación de muestra y lectura espectrofotométrica**

- a. Macerar 50 g (ml de zumo de maracuyá) de muestra en 350 ml de solución de ácido oxálico al 0.4% (dependiendo de la muestra licuar por 3 minutos), filtrar y centrifugar.
- b. Determinar L1 como se describió anteriormente (en la curva estándar).
- c. En el tubo III colocar 1 ml del filtrado (muestra) + 9 ml de agua destilada, ajustar a "0" la absorbancia.
- d. Luego, en el tubo IV colocar 1 ml del filtrado (muestra) + 9ml del colorante y registrar la absorbancia (L2) después de 15 segundos.
- e. Calcular (L1-L2) y obtener la concentración de ácido ascórbico a partir de la curva estándar.