

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**



**“ELABORACIÓN DE PURÉ DE TUMBO SERRANO
(*Passiflora mollissima* H.B.K.), MAXIMIZANDO LA
RETENCIÓN DEL ÁCIDO ASCÓRBICO”**

Presentada por:

CÉSAR JOEL HUAMANÍ SALAZAR

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE
MAGISTER SCIENTIAE EN TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**

Lima – Perú

2022

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**

**“ELABORACIÓN DE PURÉ DE TUMBO SERRANO (*Passiflora
mollissima* H.B.K.), MAXIMIZANDO LA RETENCIÓN DEL ÁCIDO
ASCÓRBICO”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE
MAGISTER SCIENTIAE**

Presentada por:

CÉSAR JOEL HUAMANÍ SALAZAR

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado

**Ph.D. Fernando Vargas Delgado
PRESIDENTE**

**M.Sc. Francisco Salas Valerio
ASESOR**

**Dr. Américo Guevara Pérez
MIEMBRO**

**Dr. Eduardo Morales Soriano
MIEMBRO**

**Dra. Ritva Repo de Carrasco
CO-ASESOR**

DEDICATORIA

Dedicado a Dios por darme su fuerza y bendición. A mis padres Joel y Blanca, a mí hermana Mónica, a mi esposa Maritza y a mi hijo Matías que son mi motor y motivo, que sin su apoyo no hubiera podido lograr este objetivo tan importante para mi desarrollo profesional.

AGRADECIMIENTOS

A mi patrocinador M.Sc. Walter Francisco Salas Valerio, por su apoyo, dedicación, consejos, sugerencias para el desarrollo del trabajo de investigación. Muchas gracias estimado profesor.

A los miembros de mi jurado el Dr. Américo Guevara por su apoyo y al Dr. Eduardo Morales por su apoyo incondicional para el desarrollo de mi trabajo.

Al M.Sc. Miguel Araujo con su apoyo y sugerencias, se pudo realizar la evaluación de tratamiento térmico en la investigación.

A Yelena Gutiérrez y a Eddy Carhuas por su apoyo y tiempo para la realización de la investigación.

Al Sr Juan, al Sr Máximo por su gran apoyo, consejos y tiempo para la realización de la investigación.

ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1.	TUMBO	3
2.1.1.	Generalidades sobre el tumbo serrano	3
2.1.2.	Taxonomía	3
2.1.3.	Características de la planta de tumbo serrano	4
2.2.	ÁCIDO ASCÓRBICO	6
2.3.	CAROTENOS	7
2.4.	COMPUESTOS FENÓLICOS	9
2.5.	CAPACIDAD ANTIOXIDANTE	12
2.6.	PASTEURIZACIÓN	13
2.7.	MÉTODO TAGUCHI	18
2.8.	MÉTODO SUPERFICIE DE RESPUESTA	26
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	30
3.1.	LUGAR DE EJECUCIÓN	30
3.2.	MATERIALES Y EQUIPOS	30
3.2.1.	Materia prima	30
3.2.2.	Insumos	30
3.2.3.	Equipos	30
3.2.4.	Materiales	31
3.2.5.	Reactivos	32
3.3.	MÉTODOS DE ANÁLISIS	32
3.3.1.	Análisis proximal	32
3.3.2.	Análisis fisicoquímico	33
3.3.3.	Compuestos bioactivos y capacidad antioxidante	33
3.3.4.	Características físicas	34
3.3.5.	ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO	34
3.4.	PROCESO DE ELABORACIÓN DEL PURÉ DE TUMBO SERRANO	34

3.5.	METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	38
3.5.1.	Caracterización de la materia prima	38
3.5.2.	Determinación de las características de penetración de calor y evaluación del tratamiento térmico	40
3.5.3.	Determinación de los factores que influyen en la retención de ácido ascórbico durante la elaboración del puré de tumbo serrano	42
3.5.4.	Maximización de la retención de ácido ascórbico durante la elaboración del puré de tumbo serrano	43
3.5.5.	CARACTERIZACIÓN DEL PRODUCTO FINAL	43
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	45
4.1.	CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA	45
4.1.1.	Análisis proximal	45
4.1.2.	Análisis fisicoquímico	47
4.1.3.	Compuestos bioactivos y capacidad antioxidante	48
4.1.4.	Características físicas	50
4.1.5.	Análisis microbiológico	51
4.2.	DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE PENETRACIÓN DE CALOR Y EVALUACIÓN DEL TRATAMIENTO TÉRMICO	52
4.2.1.	Determinación del punto más frío en el envase con puré de tumbo serrano	52
4.2.2.	Determinación de la letalidad del proceso (UP)	57
4.2.3.	Determinación de los parámetros de penetración de calor	59
4.2.4.	Determinación del tiempo de procesamiento (método Stumbo)	63
4.3.	DETERMINACIÓN DE LOS FACTORES ($p < 0.05$) QUE INFLUYEN EN LA RETENCIÓN DEL ÁCIDO ASCÓRBICO	67
4.3.1.	Ácido ascórbico	68
4.4.	MAXIMIZACIÓN DE LA RETENCIÓN DEL ÁCIDO ASCÓRBICO DURANTE LA ELABORACIÓN DEL PURÉ DE TUMBO SERRANO	77
4.5.	CARACTERIZACIÓN DEL PRODUCTO FINAL	84
4.5.1.	Análisis proximal	85
4.5.2.	Análisis fisicoquímico	86
4.5.3.	Compuestos bioactivos y capacidad antioxidante	87
4.5.4.	Características físicas	92
4.5.5.	Análisis microbiológico	93
V.	CONCLUSIONES	94

VI. RECOMENDACIONES	95
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	96
VIII. ANEXOS	104

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Composición química de 100g de producto comestible.	5
Tabla 2: Parámetros base para el tratamiento térmico.	14
Tabla 3: Valor P sugerido (T_{ref} 93,3 °C, Z 8,9°C) para frutas y vegetales.	16
Tabla 4: Resistencia al calor de microorganismos de deterioro en productos de frutas altamente ácidos.	17
Tabla 5: Factor Señal/Ruido (S/R).	22
Tabla 6: Arreglos ortogonales más usados.	24
Tabla 7: Arreglo Ortogonal L_8 (2^7).	24
Tabla 8: Factores de variabilidad en el estudio.	42
Tabla 9: Tratamientos obtenidos por el arreglo ortogonal L_8 (2^7).	43
Tabla 10: Análisis proximal de la pulpa de tumbo serrano <i>Passiflora mollisima</i> .	46
Tabla 11: Análisis fisicoquímico de la pulpa de tumbo serrano <i>Passiflora mollisima</i> .	47
Tabla 12: Compuestos bioactivos y capacidad antioxidante de la pulpa de tumbo serrano <i>Passiflora mollisima</i> .	49
Tabla 13: Características físicas del tumbo serrano.	51
Tabla 14: Carga microbiana en la pulpa de tumbo serrano fresco.	51
Tabla 15: Valores de f_h obtenidos para la selección del punto más frío en el puré de tumbo serrano.	57
Tabla 16: Parámetros de las curvas de calentamiento y enfriamiento del puré de tumbo serrano.	60
Tabla 17: Tiempos de procesamiento para la elaboración de puré de tumbo serrano, obtenido por método Stumbo (1973).	65
Tabla 18: Tratamientos según diseño experimental Taguchi L_8 (2^7) y sus resultados de concentración de ácido ascórbico.	69
Tabla 19: Análisis de varianza del diseño experimental Taguchi L_8 (2^7).	71
Tabla 20: Valores promedios (ETA) para cada factor y nivel del diseño experimental Taguchi L_8 (2^7).	72

Tabla 21: Efectos obtenidos por los factores y sus niveles según el diseño experimental Taguchi L ₈ (2 ⁷).	73
Tabla 22: Niveles con los que se obtiene la mayor retención de ácido ascórbico en el puré de tumbo serrano según el método Taguchi.	74
Tabla 23: Niveles de factores a variar para la maximización de la retención de ácido ascórbico en el puré de tumbo serrano.	74
Tabla 24: Arreglo factorial 3 ² x2, empleando para el método de Superficie de Respuesta.	76
Tabla 25: Tratamientos aplicados para la maximización de la retención del ácido ascórbico.	78
Tabla 26: Resultados del análisis de determinación de ácido ascórbico para los diferentes tratamientos.	79
Tabla 27: Análisis de varianza de la optimización de la mayor retención de ácido ascórbico mediante el método Superficie de Respuesta.	83
Tabla 28: Optimización de la variable respuesta para la mayor retención de ácido ascórbico.	83
Tabla 29: Niveles óptimos obtenidos mediante el método Superficie de Respuesta.	83
Tabla 30: Tratamientos que maximizan la retención de ácido ascórbico en la elaboración de puré de tumbo serrano aplicando el método Superficie de Respuesta.	84
Tabla 31: Análisis proximal del puré de tumbo serrano <i>Passiflora mollisima</i> .	85
Tabla 32: Análisis fisicoquímico del puré de tumbo serrano <i>Passiflora mollisima</i> .	86
Tabla 33: Compuestos bioactivos y capacidad antioxidante en el puré de tumbo serrano <i>Passiflora mollisima</i> .	88
Tabla 34: Variación de los compuestos bioactivos y capacidad antioxidante del puré de tumbo serrano <i>Passiflora mollisima</i> con respecto al estandarizado.	89
Tabla 35: Características físicas del puré de tumbo serrano.	92
Tabla 36: Análisis microbiológico del puré de tumbo serrano.	93
Tabla 37: Clasificación de tamaños de acuerdo con la masa (peso).	104
Tabla 38: Clasificación de calidad de acuerdo con las diferencias de tamaños y defectos permitidos.	105
Tabla 39: Valores de fh para la ubicación del punto más frío en el puré de tumbo serrano usando una réplica.	142
Tabla 40: Análisis de varianza (ANOVA) para los valores de fh (min) en las 3 ubicaciones de los sensores de temperatura usando una réplica.	142

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Fruto de tumbo serrano <i>Passiflora mollisima</i> .	4
Figura 2: Estructura del ácido ascórbico y sus derivados.	6
Figura 3: Estructura de los carotenoides más comunes.	9
Figura 4: Algunos compuestos fenólicos presentes en los alimentos.	11
Figura 5: Modelo clásico de control de calidad.	20
Figura 6: Función pérdida.	20
Figura 7: Nominal es Mejor.	21
Figura 8: Menor es Mejor.	21
Figura 9: Mayor es Mejor.	22
Figura 10: Análisis de Gráficas Factoriales.	25
Figura 11: a) Superficie de Respuesta para el primer orden y b) Gráfico de Contornos para el modelo de primer orden.	26
Figura 12: a) Superficie de Respuesta para el segundo orden y b) Gráfico de Contornos para el modelo de segundo orden.	27
Figura 13: Sistema de segundo orden mostrando un máximo, a) Gráfica de Contornos y b) Superficie de Respuesta.	28
Figura 14: Sistema de segundo orden mostrando un mínimo, a) Gráfica de Contornos y b) Superficie de Respuesta.	28
Figura 15: Sistema de segundo orden mostrando un punto silla, a) Gráfica de Contornos y b) Superficie de respuesta.	29
Figura 16: Sistema ascenso de cordillera para $k = 2$, a) Superficie de Respuesta y b) Gráfica de Contornos.	29
Figura 17: Flujo de operaciones para la elaboración de puré de tumbo serrano (<i>Passiflora mollisima</i>).	35
Figura 18: Etapas de la investigación para la elaboración del puré de tumbo serrano.	39
Figura 19: Ubicación de los sensores de temperatura en el envase.	53
Figura 20: Ubicación de los sensores en los frascos de puré de tumbo colocados en la autoclave vertical.	54

Figura 21: Sensores para medir la temperatura.	54
Figura 22: Determinación del punto más frío del puré de tumbo serrano en envase de vidrio de 156 ml.	55
Figura 23: Determinación del punto más frío del puré de tumbo serrano mediante el valor de fh.	56
Figura 24: Curva de Letalidad (UP) a 100°C x 32 min para el puré de tumbo serrano en envase de vidrio de 156 ml.	58
Figura 25: Curva de calentamiento del puré de tumbo serrano.	61
Figura 26: Curva de enfriamiento para el puré de tumbo serrano.	62
Figura 27: Temperatura y tiempo para el proceso de pasteurización del puré de tumbo serrano.	64
Figura 28: Curva de letalidad equivalente para <i>Byssochlamys fulva</i> en el puré de tumbo serrano.	66
Figura 29: Valores Señal/Ruido (ETA) de cada factor evaluado en la retención de ácido ascórbico, aplicando Taguchi L ₈ (2 ⁷).	70
Figura 30: Diagrama de Pareto estandarizada para la retención del ácido ascórbico (mg/100g).	80
Figura 31: Superficie de Respuesta para la mayor retención de ácido ascórbico (mg/100g).	81
Figura 32: Gráfica de contornos de la Superficie de Respuesta para la mayor retención de ácido ascórbico (mg/100g).	82
Figura 33: Curva estándar de ácido gálico para el análisis de compuestos fenólicos totales.	113
Figura 34: Curva estándar de β -caroteno para el análisis de carotenoides totales.	113
Figura 35: Curva estándar de trolox para el análisis de capacidad antioxidante hidrofílica.	114
Figura 36: Curva estándar de trolox para el análisis de capacidad antioxidante lipofílica.	114

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Resumen de la Norma Técnica Colombiana NTC (1262).	104
Anexo 2: Determinación de Compuestos Fenólicos (Singleton & Rosi 1965).	106
Anexo 3: Determinación de Carotenos Totales (Talcott y Howard 1999).	108
Anexo 4: Determinación de la Capacidad Antioxidante mediante ABTS (Arnao 2001).	110
Anexo 5: Curvas Estándar.	113
Anexo 6: Determinación del tiempo de tratamiento térmico.	115
Anexo 7: Datos utilizados para la determinación del punto más frío en el puré de tumbo serrano en frasco de vidrio C-267, mediante el valor f_h .	118
Anexo 8: Datos de tiempo y temperatura utilizados para la construcción de la figura 28 en el proceso de pasteurización del puré de tumbo serrano.	124
Anexo 9: Datos utilizados para la determinación de la curva de calentamiento en el puré de tumbo serrano en frasco de vidrio C-267.	130
Anexo 10: Datos de tiempo y temperatura utilizados para el cálculo de la curva de enfriamiento en el puré de tumbo serrano en frasco de vidrio C-267.	133
Anexo 11: Cálculos realizados para determinar los parámetros de penetración de calor.	136
Anexo 12: Cálculo para determinar el tiempo del tratamiento térmico con el Método (Stumbo 1973).	138
Anexo 13: Valores de f_h para la ubicación del punto más frío.	142

RESUMEN

El trabajo de investigación tuvo como objetivo determinar la formulación y el tratamiento térmico para maximizar la retención de ácido ascórbico en la elaboración de puré de tumbo serrano *Passiflora mollissima* (H.B.K). Para la elaboración del puré se utilizó pulpa con un contenido de $75,34 \pm 0,61$ mg de ácido ascórbico/100 g (bh) y fue envasado en un recipiente de vidrio. Se determinó los parámetros de penetración de calor utilizando una temperatura de retorta (TR) de 100°C por 32 min, y se obtuvo una letalidad (UP) de 4.5 min, usando como microorganismo de referencia *Byssochlamys fulva* cuyo valor de $D_{93,3^{\circ}\text{C}}$ fue de un minuto y con un valor Z de $8,9^{\circ}\text{C}$. Se calculó el P_0 utilizando 5D y se halló el tiempo de procesamiento (método Stumbo). Se evaluó las variables que influyen la retención del ácido ascórbico: dilución (pulpa: agua), % de azúcar, % de almidón, pH y temperatura ($^{\circ}\text{C}$), resultando 8 tratamientos usando el método Taguchi, las variables significativas fueron: la dilución (pulpa: agua) y la temperatura ($^{\circ}\text{C}$). Se aplicó el método de Superficie de Respuesta usando el arreglo factorial 3^2 : obteniendo un valor óptimo de retención de 26,30 mg de ácido ascórbico/100g (bh) con una dilución pulpa: agua de 1:1 y una temperatura de tratamiento térmico de $94,04^{\circ}\text{C}$, empleando un tiempo de 32,40 min. Se caracterizó el producto final puré de tumbo serrano se obtuvo un contenido y % de retención: $24,40 \pm 0,47$ mg de ácido ascórbico/100g (bh) (49,21%), carotenos $0,87 \pm 0,05$ mg β -caroteno/100g (bh) (45,12%), compuestos fenólicos $29,46 \pm 0,66$ mg ácido gálico/100g (bh)(51,36%), capacidad antioxidante hidrofílica $9,28 \pm 0,18$ $\mu\text{mol eq trolox /g}$ (bh)(55,51%) y capacidad antioxidante lipofílica $0,04 \pm 0,00$ $\mu\text{mol eq trolox /g}$ (bh) (50%).

Palabras clave: Tumbo serrano, puré, tratamiento térmico, ácido ascórbico, carotenos, compuestos bioactivos.

ABSTRACT

The objective of the research work was to determine the formulation and the heat treatment to maximize the retention of ascorbic acid in the production of purée of tumbo serrano *Passiflora mollisima* (H.B.K). For the elaboration of the puree, pulp with a content of 75.34 ± 0.61 mg of ascorbic acid / 100 g (bh) was used and it was packed in a glass container. The heat penetration parameters were determined using a retort temperature (TR) of 100 ° C for 32 min, and a lethality (UP) of 4.5 min was obtained, using *Byssochlamys fulva* as a reference microorganism whose value of D 93,3 ° C was one minute and with a Z value of 8.9 ° C. P0 was calculated using 5D and the processing time was found (Stumbo method). The variables that influence the retention of ascorbic acid were evaluated: dilution (pulp: water), % sugar, % starch, pH and temperature (° C), resulting in 8 treatments using the Taguchi method, the significant variables were: dilution (pulp: water) and temperature (° C). Response Surface method was applied using the 32 factorial arrangement: obtaining an optimal retention value of 26,30 mg of ascorbic acid / 100g (bh) with a pulp: water dilution of 1: 1 and a heat treatment temperature of 94.04 ° C, using a time of 32,40 min. The final product purée of tumbo serrano was characterized, a content and % retention were obtained: 24.40 ± 0.47 mg of ascorbic acid / 100g (bh) (49.21%), carotenes $0.87 \pm 0,05$ mg β -carotene / 100g (bh) (45.12%), phenolic compounds $29.46 \pm 0,66$ mg gallic acid / 100g (bh) (51,36%), hydrophilic antioxidant capacity $9.28 \pm 0,18$ μ mol eq trolox / g (bh) (55.51%) and lipophilic antioxidant capacity 0.04 ± 0.00 μ mol eq trolox / g (bh) (50%).

Keywords: Tumbo serrano, puree, heat treatment, ascorbic acid, carotenes, bioactive compounds.

I. INTRODUCCIÓN

El Perú presenta condiciones ecológicas importantes para la producción frutícola del tumbo serrano *Passiflora mollisima* H.B.K. Esta fruta nativa propia de los valles andinos, aún no ha sido producida a escala comercial, debido a que es poco conocida y a la falta de tecnologías de procesamiento que promuevan su uso industrial. Su consumo mayor es en valles andinos y es usado en estado fresco, jugos, mermeladas, bebidas y postres. FAO (2000) menciona que recibe diferentes nombres como curuba (Colombia); tacso (Ecuador); tumbo (Bolivia y Perú). Se adapta bien a tierras entre los 2000 y 3200 msnm. Los frutos son ovoides algo alargado, de cáscara gruesa y la pulpa aromática, de color amarillo, dulce y ácido a la vez.

El tumbo serrano o curuba larga posee una alta capacidad antioxidante analizada por el método FRAP, la cual fue comparada con catorce frutas (mango de azúcar, mora, fresa, guayaba común, lulo, papayuela, g. feijoa, tomate de árbol, melón, maracuyá, uchuva, granadilla, sandía y piña). El tumbo serrano presentó el mejor resultado, con un efecto reductor equivalente a $4127,346 \pm 108,62$ mg ácido ascórbico/ 100g de muestra (bs); triplicando la capacidad reductora del mango *Mangifera indica* L (Botero *et al.* 2007).

Por otro lado, el tratamiento térmico en los alimentos en conserva tiende a disminuir algunos componentes propios del alimento originario. La elaboración de un puré de tumbo en conserva, debido al tratamiento térmico que se aplica, ofrece un producto seguro. Además, esto permitirá evitar el deterioro microbiológico, enzimático y físico-químico, así conservando gran parte de las características de la fruta fresca tales como: ácido ascórbico, carotenos y otros compuestos bioactivos.

Por lo tanto, la investigación tuvo como objetivo principal:

Determinar la formulación y el tratamiento térmico que maximice la retención de ácido ascórbico, en la elaboración de puré de tumbo serrano *Passiflora mollisima* (H.B.K).

Los objetivos específicos fueron:

- Determinar la temperatura y tiempo del tratamiento térmico para el puré de tumbo serrano *Passiflora mollisima* H.B.K.
- Determinar los factores que influyen significativamente en la retención de ácido ascórbico, como la dilución (pulpa: agua), % de azúcar, % de almidón, pH y la temperatura de tratamiento térmico en el puré de tumbo serrano *Passiflora mollisima* H.B.K., usando el método Taguchi.
- Maximizar la retención de ácido ascórbico en el puré de tumbo serrano *Passiflora mollisima* H.B.K. usando el método de Superficie de Respuesta.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. TUMBO

2.1.1. Generalidades sobre el tumbo serrano

Las passifloraceas son muy atractivas desde un punto de vista económico. Algunas de las especies más importantes como *Passiflora edulis* (maracuyá), *P. ligularis* (granadilla) y *P. mollissima* (tumbo), son frutos de gran importancia económica por ser frutos comestibles (Hernández y Bernal, 2000). Por su forma similar a la de un plátano es conocida como “banano de la pasión” y su pulpa posee un alto contenido de vitamina C, en comparación con el maracuyá, naranjas y toronjas (Brack 1999).

Según Calzada (1980), el tumbo serrano *Passiflora mollissima*, es una especie originaria de los valles serranos de los andes, entre los 2000 a 3500 m.s.n.m.

2.1.2. Taxonomía

Reino	:	Plantae
División	:	Fanerogamas
Subdivisión	:	Angiospermas
Clase	:	Dicotiledonea
Subclase	:	Arquiclamideas
Orden	:	Parietales
Suborden	:	Flacaurtriae
Familia	:	Passifloraceas
Género	:	<i>Passiflora</i>
Especie	:	<i>Passiflora mollissima</i> H.B.K.

El tumbo serrano es conocido por otros nombres en otros lugares tales como: Tumbo serrano (Perú), curuba o poro poro (Colombia), Parcha (Venezuela), Granadilla Cimarrona (México), Taxo (Ecuador), Banana Passion Fruit (Nombre en Inglés) (Calzada 1980).

2.1.3. Características de la planta de tumbo serrano

Según León (1968), es una planta trepadora de tallos cilíndricos con hojas ovadas u oblongas de 6 a 12 cm de largo, el peciolo con glándulas cerca de la lámina. Hojas trilobuladas y flores con el tubo de la corola muy largo, de 6 a 10 cm de longitud y pétalos cortos y rosados. La corona está reducida a filas de papilas diminutas.

De acuerdo a Calzada (1980), los frutos son oblongos, muy alargados y suaves, de 6 a 9 cm de largo y 4 a 5 cm de diámetro. El epicarpio tiene color amarillo-claro y está cubierto por una fina pubescencia, tal como se muestra en la Figura 1. El mesocarpo está repleto de semillas envueltas en arilos con jugo de color amarillo más pronunciado. El fruto es fragancioso y extraordinariamente rico. La composición química de 100 g de producto comestible se muestra en la Tabla 1.



Figura 1: Fruto de tumbo serrano *Passiflora mollissima*.

Tabla 1: Composición química de 100g de producto comestible.

CONSTITUYENTE	UEHARA (1985)	REYES <i>et al.</i> (2009)	MALLAUPOMA (2010)
Humedad (%)	87,8	82,1	88,25
Proteína (g)	1,13	1,2	1,24
Grasa (g)	-	0,5	0,01
Carbohidratos (g)	-	15,4	-
Fibra (g)	-	3,6	0,24
Ceniza	0,63	0,8	0,63
Calcio (mg)	24,73	8,0	-
Fosforo (mg)	16,95	34,0	-
Hierro (mg)	1,34	0,6	-
Caroteno (mg)	4,40	0,92	-
Niacina (mg)	-	4,56	-
Tiamina (mg)	-	0,02	-
Rivoflavina (mg)	-	0,11	-
Ácido ascórbico (mg)	78	66,7	79,95
Acidez %	3,82	-	2,446
pH	3,2	-	3,4
Valor energético (kcal)	-	64	-

Fuente: Uehara (1985), Reyes *et al.* (2009), Mallaupoma (2010).

2.2. ÁCIDO ASCÓRBICO

La vitamina C es un derivado de los hidratos de carbono (se sintetiza a partir de la D-glucosa), posee una estructura de cetona cíclica que corresponde a la forma enólica de la 3-ceto-1-gulofuranolactona; contiene un enol en los carbonos 2 y 3 que la hace un agente ácido y reductor, por lo que se oxida fácilmente (Figura 2). Se encuentra principalmente en vegetales, y los cereales, la leche, las carnes y derivados no la contienen (Badui 2013).

Lee y Kader (2000), mencionan que la vitamina más importante en frutas y vegetales para la nutrición humana es la vitamina C, supliendo más del 90%. El concepto de vitamina C es definido como término genérico para todos los compuestos que muestran actividad biológica de L-ácido ascórbico (AA) que es la principal forma biológica activa, pero en forma de L-ácido dehidroascórbico (DHA) es un producto oxidado. El DHA puede ser convertido fácilmente en AA en el cuerpo humano. En muchos cultivos hortofrutícolas el DHA es menor al 10% del total de vitamina C, pero el DHA tiende a incrementarse durante el almacenamiento.

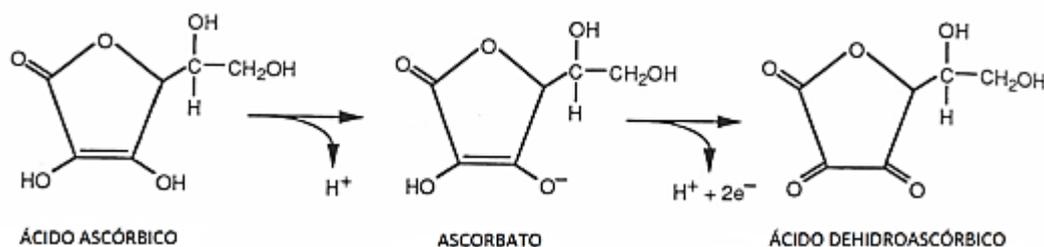


Figura 2: Estructura del ácido ascórbico y sus derivados.

Fuente: Reiss (1993)

Los parámetros que favorecen la oxidación del ácido ascórbico a ácido dehidroascórbico y su posterior degradación son: la presión parcial de oxígeno, pH, temperatura y la presencia de iones de metales pesados. Los iones de Cu²⁺ y Fe³⁺ causan grandes pérdidas de este compuesto (Belitz *et al.* 2009). Damodaran (2010) menciona que la luz y el calor aceleran el proceso de oxidación. Factores como la concentración de oxígeno, el pH y la actividad de agua, influyen poderosamente en la velocidad de reacción.

La degradación anaeróbica del ácido ascórbico es sustancialmente menor que la no catalizada (aeróbica), es máxima a pH 4 y mínima a pH 2. En presencia de aminoácidos el ácido ascórbico y dehidroascórbico pueden seguir la reacción de oscurecimiento de Maillard (Belitz *et al.* 2009).

Davey *et al.* (2000), resalta que la importancia biológica del comportamiento del L-Ácido ascórbico (AA) es que a diferencia de otros antioxidantes (α -tocoferol, ácido úrico, carotenoides, flavonoides, etc.) tiene un bajo peso molecular.

2.3. CAROTENOS

Los carotenoides son los pigmentos responsables de la mayoría de los colores amarillos, anaranjados y rojos de frutos y verduras, debido a la presencia en su molécula de un cromóforo consistente total o principalmente en una cadena de dobles enlaces conjugados. Están presentes en todos los tejidos fotosintéticos, junto con las clorofilas, así como en tejidos vegetales no fotosintéticos, como componentes de cromoplastos, que pueden ser considerados como cloroplastos degenerados (Meléndez *et al.* 2004).

La estructura química básica de la mayoría de estos compuestos es poliénica de 40 átomos de carbono y ocho unidades de isopreno, cuyo arreglo se hace inverso en el centro y puede ser de cadena lineal o presentar ciclizaciones en los extremos, como se observa en la Figura 3.

Cabe indicar que las plantas y los microorganismos tienen la capacidad de sintetizarlos, en los animales superiores provienen de ingesta de alimentos de origen vegetal. Existen en forma libre en la fracción lipídica del tejido vegetal, formando complejos con proteínas e hidratos de carbono (Badui 2013).

Ejemplos de alimentos con carotenos son los tomates (licopenos), las zanahorias (α y β -carotenos), los pimientos rojos (capsantina), las calabazas (β -caroteno), los zumos de cítricos con pulpa (β -caroteno), el maíz (luteína y zeaxantina) y el boniato (β -

caroteno). Las hortalizas de hojas verdes contienen carotenoides, pero su color se ve enmascarado por el verde de las clorofilas.

El rol fundamental de los carotenoides en los humanos y animales es ser el precursor de la vitamina A. Aunque el β -caroteno posee la mayor actividad de provitamina A, debido a su anillo β . Los carotenoides de las frutas y vegetales proveen entre el 30 - 100% de la provitamina A requerida en las poblaciones de humanos (Damodaran 2010).

Según Burton (1989), el β -caroteno puede ejercer efector protector en sistemas biológicos. En particular se ha propuesto que el β -caroteno puede desactivar especies químicas reactivas tales como el oxígeno singlete, triple fotoquímicos sintetizados y radicales libres.

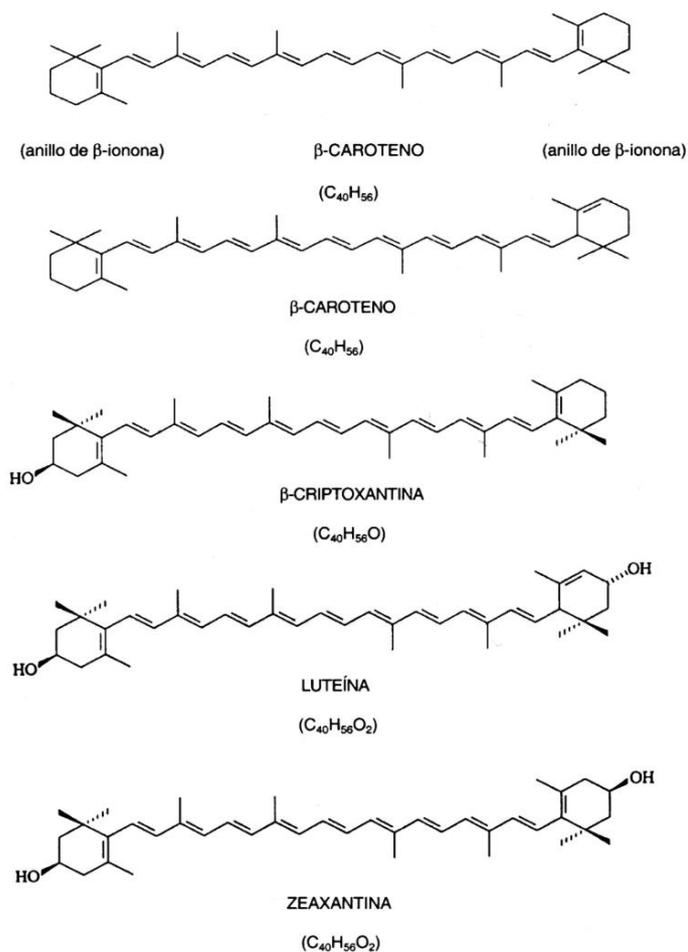


Figura 3: Estructura de los carotenoides más comunes.

Fuente: Damodaran (2010)

2.4. COMPUESTOS FENÓLICOS

Los compuestos fenólicos o polifenoles constituyen un amplio grupo de sustancias químicas, que engloban más de 8 000 compuestos distintos. Su presencia en los tejidos vegetales está relacionada con ingesta de vegetales. Están distribuidos de acuerdo al compuesto químico que se trate, situándose en la pared celular o en el interior de las células. Estos compuestos son metabolitos esenciales para el crecimiento y reproducción de las plantas, y actúan como mecanismo de defensa frente a la acción de patógenos (Martínez *et al.* 2000).

De acuerdo a Badui (2013), son sustancias con uno o más anillos aromáticos. Existen dos grupos grandes: los ácidos fenólicos (benzoico y cinámicos) y los flavonoides (flavonoides, antocianinas y taninos).

Los ácidos fenólicos como el ácido cafeico, ferúlico y camarico, son sintetizados en la ruta del ácido siquímico, que comienza con la condensación de la fosfoenolpiruvato y eritrosa 4-fosfato. La fenilalanina y la tirosina también se sintetizan en la ruta del ácido siquímico y pueden actuar como precursores importantes de los ácidos fenólicos (Damodaran 2010). Algunos compuestos fenólicos presentes en los alimentos, son mostrados en la Figura 4.

Los compuestos fenólicos son metabolitos secundarios de las plantas que se encuentran en todas las frutas y vegetales, incluyendo manzanas, granos de café, uvas, papas, ciruelas de pasas y hojas de té. Estos compuestos parecen estar involucrados en la defensa de las plantas contra patógenos invasores, incluyendo insectos, bacterias, hongos y virus (Friedman y Jürgens 2000).

Rodríguez *et al.* (2010), mencionan que para las frutas evaluadas como la mora (*Rubus glaucus* B), maracuyá (*Passiflora edulis* S.), guayaba (*Psidium guajava* L.) y papayuela (*Carica cundinamarcensis* J.), los compuestos fenólicos aumentan con el grado de madurez del fruto.

Los compuestos fenólicos tienen la habilidad para actuar como antioxidantes (Velioglu *et al.* 1998). Los componentes fenólicos derivados de las plantas son antioxidantes más antioxidantes *in vitro* que las vitaminas E o C, y por lo tanto podría contribuir significativamente a la protección de efectos *in vivo* (Rice-Evans *et al.* 1997).

Los compuestos fenólicos que existen en las frutas están influenciados por factores genéticos y ambientales, estos pueden modificarse por reacciones oxidativas durante el procesamiento y el almacenamiento. Dos de los procesos más importantes son la actividad antioxidante de los fenoles y el pardeamiento oxidativo. Muchos compuestos fenólicos (por ejemplo, ésteres cafeicos y catequinas) ambos son buenos sustratos para

el pardeamiento oxidativo y a la vez muy buenos antioxidantes. Estos compuestos funcionan como antioxidantes a bajas concentraciones mientras que, en altas concentraciones, son susceptibles a la oxidación y pueden comportarse como prooxidantes (Robards *et al.* 1999)

Los compuestos fenólicos especialmente los flavonoides evidencian su capacidad antioxidante y su significativa contribución en la dieta, así como su efecto preventivo contra las enfermedades: cardiovasculares, cancerígenas y neurológicas. Los polifenoles son efectivos donadores de hidrógenos, particularmente los flavonoides. Su potencial antioxidante depende del número y de la posición de grupos hidroxilos y su conjugación, así como la presencia de electrones donadores en el anillo estructural, debido a la capacidad que posee el grupo aromático de soportar el des apareamiento de electrones por desplazamiento del sistema de electrones (Kuskoski *et al.* 2004).

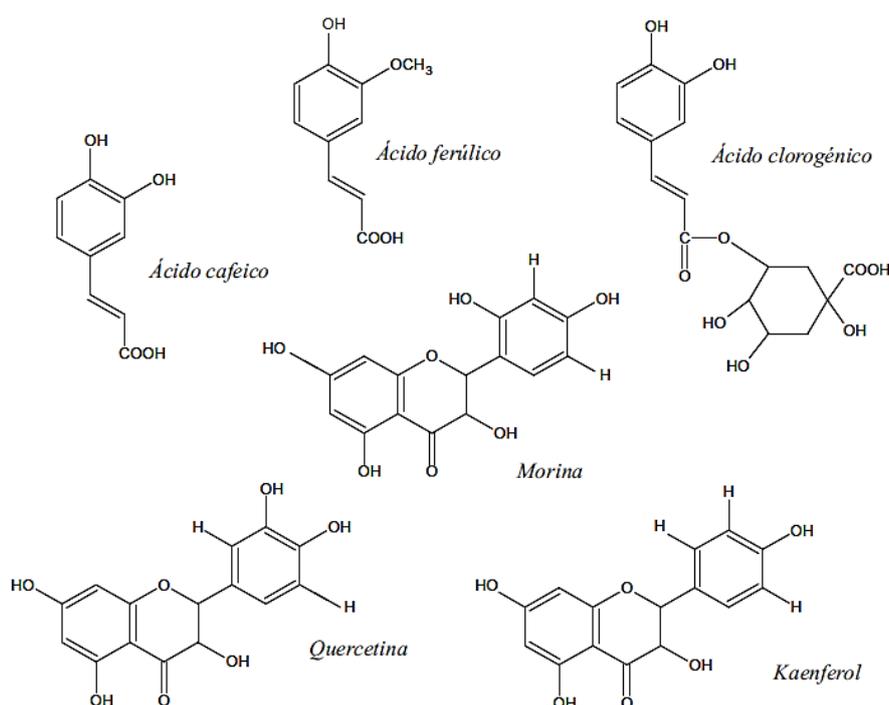


Figura 4: Algunos compuestos fenólicos presentes en los alimentos.

Fuente: Muñoz *et al.* (2007)

2.5. CAPACIDAD ANTIOXIDANTE

Los vegetales, pero especialmente las frutas, poseen una variedad de compuestos químicos que actúan como agentes antioxidantes, inhibiendo a las especies reactivas del oxígeno (ERO) que causan daño celular expresándose como patología, tales como las enfermedades cardiovasculares (Rodríguez *et al.* 2010).

Madhavi (1996), indica que en sistemas biológicos varias son las defensas bioquímicas, estos son mecanismos que envuelven a las enzimas, minerales traza y vitaminas que actúan como antioxidantes protegiendo los componentes celulares del daño oxidativo.

Según Kuskoski *et al.* (2005), la capacidad antioxidante no viene dado sólo por la suma de cada uno de sus componentes; también depende del microambiente en que se encuentre el compuesto. Los componentes interactúan entre sí produciendo efectos sinérgicos o inhibitorios.

Rice-Evans *et al.* (1996), mencionan que las dietas ricas en frutas y vegetales son protectores contra enfermedades cardiovasculares y ciertas formas de cáncer y quizás contra otras enfermedades también. Este efecto protector ha sido atribuido, en gran parte, a los antioxidantes presentes incluyendo a los antioxidantes nutrientes como la vitamina C y β -caroteno, pero también los carotenoides menores, y los polifenoles de las plantas tales como los flavonoides y fenilpropanoides pueden tener un rol significativo.

Diversos compuestos cromógenos son utilizados (ABTS, DDPH, FRAP) para captar los radicales libres producidos durante los procesos de oxidación. Entre los métodos más aplicados están el ABTS y el DPPH. El método ABTS sufre una reacción de oxidación con persulfato de potasio, con este método se puede medir la actividad antioxidante de compuestos de naturaleza hidrofílica y lipofílica (Kuskoski *et al.* 2005).

2.6. PASTEURIZACIÓN

Simpson (2009), menciona que la pasteurización es un tratamiento térmico de baja intensidad con el objetivo de inactivar formas vegetativas de patógenos y microorganismos de deterioro. Además, el tratamiento térmico también tiene acción sobre otros componentes de los alimentos: enzimas, proteínas, vitaminas, etc., lo cual trae como consecuencia el cambio en el color, forma, consistencia, etc. (Casp y Abril 1999).

Para alimentos que se encuentren con un $\text{pH} < 4,5$ (productos ácidos) proliferan levaduras y mohos y se usan temperaturas menores a 100°C que aseguran la destrucción de levaduras, mohos y formas vegetativas de bacterias, así como la inactivación de enzimas a lo cual se denomina pasteurización. Además, el bajo pH impide el desarrollo de esporas bacterianas (Cheftel *et al.* 1983).

Para alimentos con $\text{pH} < 3,8$ el mayor riesgo en esta categoría son las bacterias ácido lácticas, mohos y levaduras, algunas que pueden presentar resistencia al calor son las ascosporas del *Byssochlamys fulva* (Tucker y Featherstone 2011).

Las ascosporas son la forma de más resistencia térmica de los mohos, su resistencia es generalmente menor que las esporas bacterianas y puede llegar a ser un problema en productos que reciben un tratamiento térmico leve intenso (pasteurización), tales como son las conservas de frutas y productos de frutas (Larousse y Brown 1997).

En relación con los alimentos enlatados, el más importante de los *Ascomycetos*, aparte de las levaduras, es el moho *Byssochlamys fulva*, las esporas (ascosporas) que forman son resistentes al calor (Herson y Hulland 1995). Estos mohos son los que originan con mayor frecuencia alteraciones en productos ácidos tratados con calor, tales como fresas y uvas. La alteración se manifiesta por desintegración de la fruta, frecuentemente con escasas manifestaciones visibles de formación de micelios fúngicos (Rees y Betisson 1994).

Tchango *et al.* (1997), indican que los valores de pasteurización P, se calculan de una forma similar al de los valores de F, usando la ecuación 1.

$$UP = P = 10^{\left(\frac{T-T_{ref}}{Z}\right)} \dots\dots\dots(1)$$

Dónde:

UP = P = Letalidad del tratamiento térmico de pasteurización.

T = Temperatura del medio de calentamiento (°C).

Tref = Temperatura de referencia (°C).

Z = Resistencia térmica (°C).

En la Tabla 2 se muestran algunos parámetros de referencia usados para el tratamiento térmico, tanto para la esterilización como para la pasteurización.

Tabla 2: Parámetros base para el tratamiento térmico.

Parámetro	Esterilización	Pasteurización
Microorganismo de referencia	<i>Clostridium botulinum</i>	<i>Byssochlamys fulva</i>
T° de referencia	250°F = 121,1°C	200°F = 93,3°C
Valor D	0,21 min	1 min
Valor Z	18°F = 10°C	16°F = 8,9°C
T° mínima letal	122°F = 100°C	158°F = 70°C
Expresión de la letalidad	$F_{250}^{18} = F_{121,1}^{10} = F$	$F_{200}^{16} = F_{93,3}^{8,9} = F = P = UP$

Fuente: Hurtado (1987)

La resistencia al calor de las ascosporas de *Byssochlamys fulva* varían marcadamente con las condiciones de aislamiento y calentamiento, un valor D de entre 1 a 12 min a 90°C y un valor Z de 6 a 7 °C (Pitt y Hocking 2009 y Jay *et al.* 2005).

Las ascosporas resisten 30 min a 85°C, y 10 min a 87,7°C. Por otro lado, encontraron que un tratamiento a 95°C durante 15 minutos daba lugar a la inactivación de las esporas, pero no a su destrucción total. Para controlar el *Byssochlamys fulva*, la fruta enlatada requería ser calentada en su centro a 87,8 - 90,6°C (Herson y Hulland 1995).

Tucker y Featherstone (2011), sostienen que muchas frutas son sensibles al calor, y por tanto los procesos son frecuentemente muy cercanos al mínimo de requerimiento de valor P. El bajo pH asegura que el alimento no sea un riesgo en relación a otros productos, el rango de $2,5 < \text{pH} < 4,5$ provee procesos para los diferentes productos, tal como se muestra en Tabla 3.

Tchango *et al.* (1997), utilizan parámetros de $T_{\text{ref}} 75^\circ\text{C}$, $Z = 27,70^\circ\text{C}$ y $D = 1,03$ min para el néctar de Passion fruit (*Passiflora edulis*) ($\text{pH} = 3,03$), y el tiempo de pasteurización hallado a 94°C por 2,75 min para la levadura *Candida pelliculosa*. Esta levadura es una de las responsables de fermentación de néctares de frutas tropicales en Camerún.

Silva y Gibbs (2004), mencionan que la flora del deterioro son dependientes del producto de fruta (pH , sólidos solubles, tipo de ácidos orgánicos). En la Tabla 4 se menciona los microorganismos de deterioro más resistentes al calor en productos de frutas altamente ácidos.

Silva y Gibbs (2004), indican que muchos estudios han demostrado que los microorganismos se vuelven más resistentes al incrementar la concentración de azúcar. Algunos ácidos orgánicos parecen cambiar la sensibilidad de los microorganismos al calor.

Tabla 3: Valor P sugerido (T_{ref} 93,3 °C, Z 8,9°C) para frutas y vegetales.

Producto	pH	Valor P (minutos)
Jugo de limón	2,5	0,1
Ciruelas	2,8	0,2
Grosellas	3,0	0,5
Vegetales encurtidos	3,0	0,5
Ciruela verde	3,2	0,8
Ruibarbo	3,2	0,2 - 0,4
Mandarinas	3,2 - 3,4	1,0 - 2,0
Jugo de Toronja	3,2	0,2 - 0,4
Albaricoques	3,2 - 4,0	1,0 - 8,0
Manzanas	3,3	0,2 - 0,6
Moras	3,3	
Jugo de naranja	3,5 - 3,8	0,2 - 0,6
Piñas	3,5	0,6 - 0,8
Fresas	2,3 - 4,0	0,8
Mermeladas	3,5	0,8
Guindas	3,5	0,2 - 0,4
Chucrut	3,5 - 3,9	0,5
Pepinillos en vinagre	3,5 - 3,8	0,5 - 1,0
Arándanos	3,7	0,5
Cerezas	3,8	0,6 - 2,5
Guayabas	3,8	0,8
Nectarinas	4,0	1,5 - 8,0
Melocotones	4,0	1,5 - 8,0
Peras	4,0	1,3 - 10,0
Pepinillos agridulces	3,6 - 4,1	0,5 - 1,0
Tomates	4,2 - 4,5	2,0 - 10,0
Pasta de tomates	4,2 - 4,5	1,0 - 5,0

Fuente: Tucker y Featherstone (2011)

Tabla 4: Resistencia al calor de microorganismos de deterioro en productos de frutas altamente ácidos.

Producto de fruta	Microorganismo	pH	SS (°Brix)	T (°C)	Valor D (min)	Valor Z (°C)	Rango T (°C)
	Bacteria						
Jugo de mango	<i>Bacillus megaterium</i> (esporas)	3,4	-	100	0,8	-	-
Jugo de naranja	<i>Bacillus megaterium</i> (esporas)	3,7	-	100	0,8	-	-
Durazno	<i>Clostridium butyricum</i> (esporas)	-	-	90	1,1	11,5	-
Pasta de tomate	<i>Bacillus coagulans</i> (esporas)	4,0	30	90	3,5	9,5	75 - 90
	Mohos						
Pulpa de fresa	<i>Neosartorya fischeri</i> LT025 (ascosporas)	3,0	15	80	59,5	6,4	80 - 93
				85	14,5		
				90	2,6		
				93	0,5		
Pulpa de fresa	<i>Byssochlamys nivea</i> (ascosporas)	3,0	15	80	193,1	6,4	80 - 93
				85	34,6		
				90	6,3		
				93	1,7		
Pulpa de fresa	<i>Talaromyces flavus</i> (ascosporas)	3,0	15	75	53,9	8,2	75 - 90
				80	17,9		
				85	3,3		
				90	0,9		
Pulpa de fresa	<i>Eupenicillium javanicum</i> (ascosporas)	3,0	15	80	14,5	7,9	80 - 90
Jugo y concentrado de piña, agua	<i>Neosartorya fischeri</i> (ascosporas)	-	-	85	19,6 - 29,5	8,9 - 9,2	85 - 95
				88	12,4	17	
				90	4,7	7,6	
				95	1,7	2,3	
Jugo de manzana	<i>Neosartorya fischeri</i> LT025 (ascosporas)	3,5	15	85	15,1	5,3	85 - 93
				88	4,7		
				90	2,6		
				93	0,4		
Jugo de tomate	<i>Byssochlamys fulva</i> (ascosporas)	4,2	16	90	8,1	-	-
Jugo de tomate	<i>Byssochlamys nivea</i> (ascosporas)	4,2	16	90	1,5	-	-
Jugo de tomate	<i>Neosartorya fischeri</i> (ascosporas)	4,2	16	90	4,4 - 5,6	-	-

Fuente: Silva y Gibbs (2004)

2.7. MÉTODO TAGUCHI

El diseño robusto se origina con las ideas del Ingeniero japonés Genichi Taguchi, quien desarrolló su propia filosofía y métodos de ingeniería de la calidad desde 1950 (Gutiérrez y De la Vara 2012).

Fernández y Hoyos (2011), mencionan que Taguchi considera la calidad como una función continua, contrario a las teorías tradicionales que la definen como: “cumplir con las especificaciones”, que quiere decir que mientras la medición esté dentro de tolerancias, hay calidad, como se muestra en la Figura 5. No importa si está en el centro de especificación, llamado estándar, o cerca de un límite.

Gutiérrez y De la Vara (2012), sostienen que en un proceso existen básicamente dos tipos de factores: controlables y no controlables (o de ruido). Por lo regular, los factores de estudio eran controlables. Sin embargo, en un diseño robusto es conveniente tener una clasificación más detallada del tipo de factores controlables que puedan influenciar el proceso, en cuanto a su efecto sobre la media y la variabilidad de la respuesta de interés.

a) Función Pérdida

Taguchi define la calidad como “la pérdida impartida por el producto a la sociedad desde el tiempo en que el producto es enviado”. El objetivo de la función pérdida de calidad es cuantificar la evaluación de las pérdidas causadas por la variación funcional de un producto (Taguchi *et al.* 2005).

Según Fernández y Hoyos (2011), Taguchi a diferencia del concepto de calidad tradicional, mostrado en la Figura 5: Modelo clásico de control de calidad que mientras la medición sea en el centro de la especificación o cerca de los límites, hay calidad. La calidad se comporta de forma similar, pues un producto con una variable que cumpla con el estándar (centro de especificación) es más robusto a muchas variaciones no controlables que otro que cumpla con la especificación, pero cerca

de los límites. A medida que se aleja del centro, pierde robustez, y su probabilidad de fallar aumenta. El modelo que propone Taguchi se rige por una función parabólica, como se muestra en la Figura 6.

La función pérdida puede ser expresada matemáticamente, por el tipo de característica de calidad.

- **NOMINAL ES MEJOR:**

La calidad es mayor cuando se acerca al valor nominal. Por ejemplo (color, °Brix, acidez, textura, etc.). Se muestra en la Figura 7.

- **MENOR ES MEJOR:**

La calidad es mayor cuando la característica es menor (porcentaje de defectuosos, índices microbiológicos de calidad, menor cantidad de metales pesados en alimentos, etc.). Se ve la relación en la Figura 8.

- **MAYOR ES MEJOR:**

La calidad es mayor cuando la característica es mayor, (eficiencia, algunos atributos sensoriales, vida útil, más vitaminas, etc.). La Figura 9, muestra la relación mayor es mejor.

La relación señal/ruido (S/R) desarrollada por Taguchi se muestra en Tabla 5, dicha relación implica 2 términos, la variación y la desviación contra el promedio o valor nominal. En su forma experimental la S/R es simplemente la razón de la media a la desviación estándar (o al inverso del cociente de variación). La S/R debe maximizarse para lograr un diseño robusto.

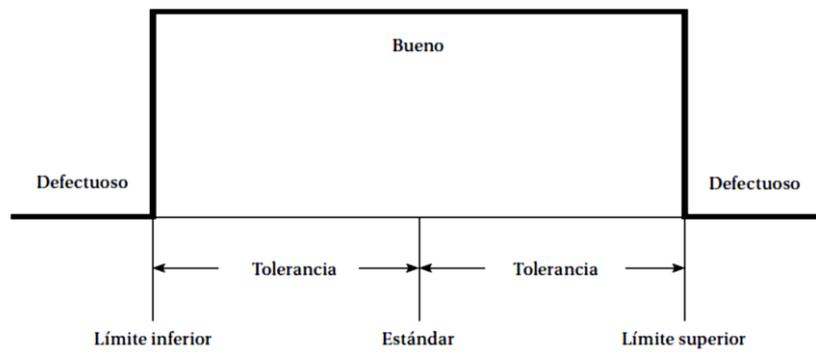


Figura 5: Modelo clásico de control de calidad.

Fuente: Fernández y Hoyos (2011)

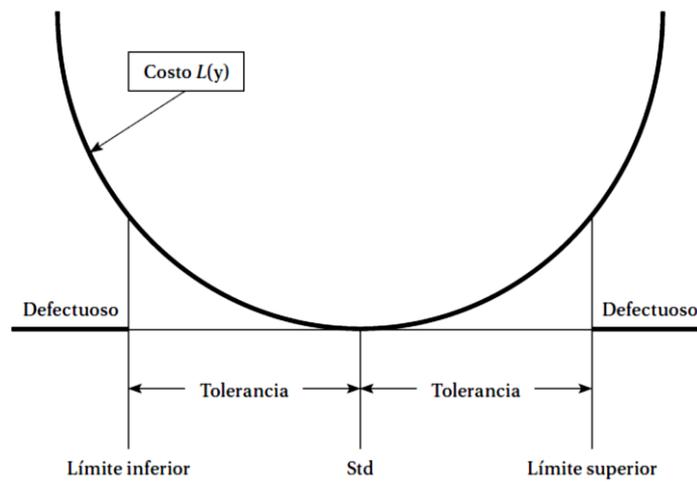


Figura 6: Función pérdida.

Fuente: Fernández y Hoyos (2011)

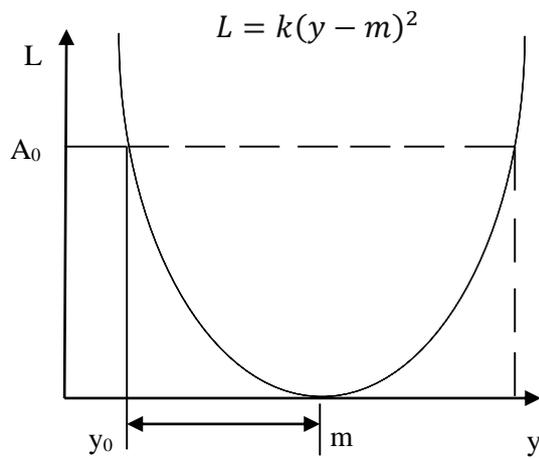


Figura 7: Nominal es Mejor.

Fuente: Taguchi *et al.* (2005)

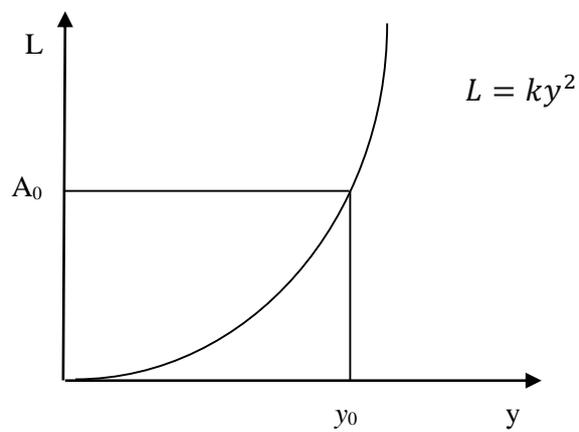


Figura 8: Menor es Mejor.

Fuente: Taguchi *et al.* (2005)

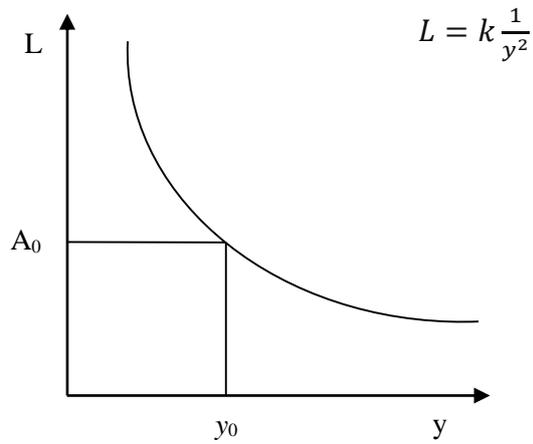


Figura 9: Mayor es Mejor.

Fuente: Taguchi *et al.* (2005)

Tabla 5: Factor Señal/Ruido (S/R).

CARACTERÍSTICA	SEÑAL/RUIDO (S/R)
Menor es Mejor	$S/R_S = -10 \text{Log} \left[\frac{1}{n} (\sum Y_I^2) \right]$
Mayor es Mejor	$S/R_L = -10 \text{Log} \left[\frac{1}{n} \left(\sum \frac{1}{Y_I^2} \right) \right]$
Nominal es Mejor	$S/R_T = 10 \text{Log} \left(\frac{\overline{Y^2}}{S_2} \right)$
Dónde:	
$Y = \frac{1}{n} < Y_I$	
$S_2 = \frac{1}{(n-1)} \sum (Y_I - \bar{Y})^2$	

Fuente: Gutiérrez y De la Vara (2012)

b) Arreglos Ortogonales

Fernández y Hoyos (2011), mencionan que un arreglo ortogonal se base en una matriz de dos entradas y una salida en la cual la primera entrada consta de diferentes combinaciones de las señales, la segunda entrada son combinaciones de los ruidos y los datos de la matriz son las mediciones de la variable respuesta.

Las interacciones entre las señales y los ruidos se conocen mediante el cálculo de lo que él llama relación señal/ruido.

Yacuzzi *et al.* (2005), sostienen que estas ratios se derivan de la función de pérdida cuadrática presentada anteriormente. Se consideran óptimos los niveles de los factores que maximicen una ratio señal-ruido adecuado. Estas ratios difieren según que el objetivo del experimento sea reducir la variabilidad alrededor de un valor objetivo determinado, o producir un efecto resultante lo mayor posible, o, inversamente, producir el menor efecto posible. Taguchi mide la robustez con el ratio señal-ruido. Mientras más robusta es una tecnología, más fuerte es la señal que emite contra cualquier ruido externo que trate de inhibir la fuerza de la señal.

Para Taguchi, el uso de las ratios señal-ruido elimina en general la necesidad de examinar las interacciones entre los factores controlables y los factores de ruido, si bien el examen de estas interacciones puede ocasionalmente mejorar la comprensión de los procesos estudiados. Finalmente, dado que los arreglos no siempre se corren completos, por razones de economía, es posible realizar experimentos confirmatorios.

Entre los arreglos ortogonales más usados son mostrados en la Tabla 6.

Tabla 6: Arreglos ortogonales más usados.

Arreglo ortogonal	Factores	Niveles Por factor	Ensayos para cada arreglo ortogonal	Ensayos para un factorial completa
$L_4(2)^3$	3	2	4	8
$L_8(2)^7$	7	2	8	128
$L_9(3)^4$	4	3	9	81
$L_{12}(2)^{11}$	11	2	12	2048
$L_{16}(2)^{15}$	15	2	16	32768
$L_{18}(2^1 \times 3^7)$	1-7	2-3	18	4374

Fuente: Adaptado de Gutiérrez y De la Vara (2012)

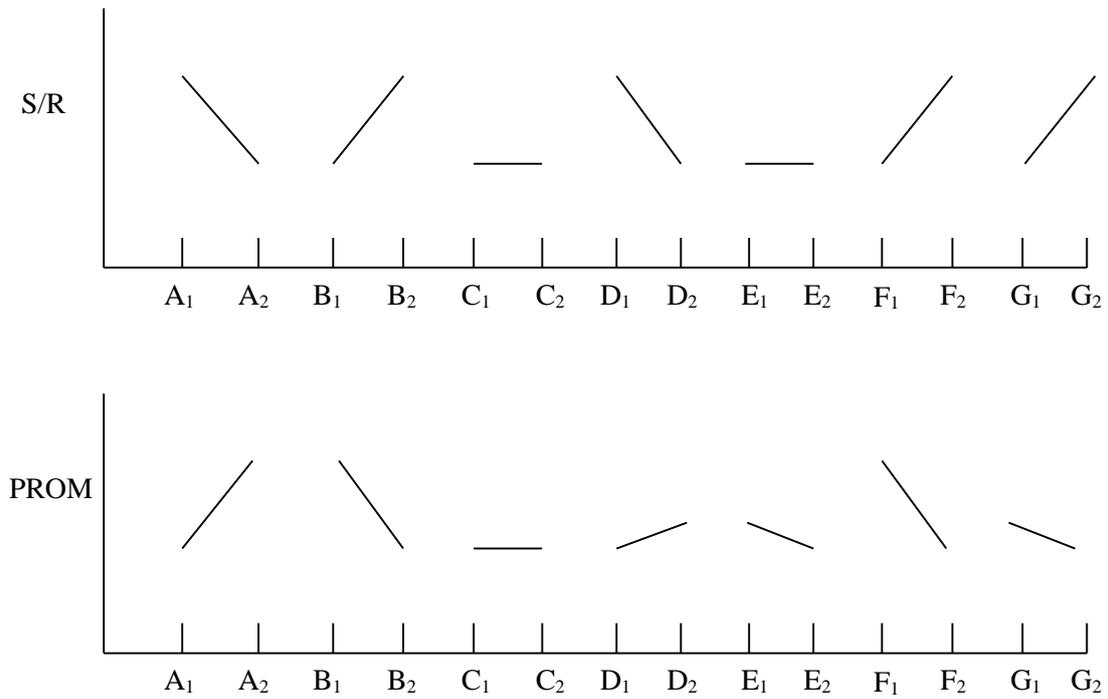
Tabla 7: Arreglo Ortogonal $L_8(2^7)$.

	7 Factores – 2 niveles cada uno							
Fórmulas	A	B	C	D	E	F	G	Resultado
1	1	1	1	1	1	1	1	Resultado1
2	1	1	1	2	2	2	2	Resultado2
3	1	2	2	1	1	2	2	Resultado3
4	1	2	2	2	2	1	1	Resultado4
5	2	1	2	1	2	1	2	Resultado5
6	2	1	2	2	1	2	1	Resultado6
7	2	2	1	1	2	2	1	Resultado7
8	2	2	1	2	1	1	2	Resultado8

Fuente: Adaptado de Gutiérrez y De la Vara (2012)

Nivel menor: 1

Nivel mayor: 2



Donde el cálculo de efectos promedio será:

$$A_1 = \frac{S/R_1 + S/R_2 + S/R_3 + S/R_4}{4}$$

$$A_2 = \frac{S/R_1 + S/R_2 + S/R_3 + S/R_4}{4}$$

$$B_1 = \frac{S/R_1 + S/R_2 + S/R_3 + S/R_4}{4}$$

$$B_2 = \frac{S/R_1 + S/R_2 + S/R_3 + S/R_4}{4}$$

Etc.

Figura 10: Análisis de Gráficas Factoriales.

Fuente: Marfil (1991)

2.8. MÉTODO SUPERFICIE DE RESPUESTA

La metodología de superficie de respuesta es un conjunto de técnicas matemáticas y estadísticas útiles en el modelado y análisis de problemas en los que una respuesta de interés recibe la influencia de varias variables y donde el objetivo es optimizar esta respuesta (Montgomery 2004).

Myers *et al.* (2016), mencionan que la metodología superficie de respuesta (RSM) también es útil para el desarrollo, mejoramiento, y optimización de procesos. Esto también tiene aplicaciones en el diseño, desarrollo, y formulación de nuevos productos, así como en el mejoramiento del diseño de los productos existentes.

En la mayoría de problemas de superficie de respuesta (Figura 11), la forma de relación entre la respuesta y las variables independientes es desconocida. Por lo tanto, el primer paso de la MSR es encontrar una aproximación adecuada de la verdadera relación funcional entre “Y” y el conjunto de variables independientes. Por lo general se emplea un polinomio de orden inferior en alguna región de las variables independientes. Si la respuesta está bien modelada por una función lineal de las variables independientes, entonces la función de aproximación es el modelado de primer orden (Montgomery 2004).

$$Y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \dots + \beta_kx_k + \varepsilon \dots\dots\dots$$

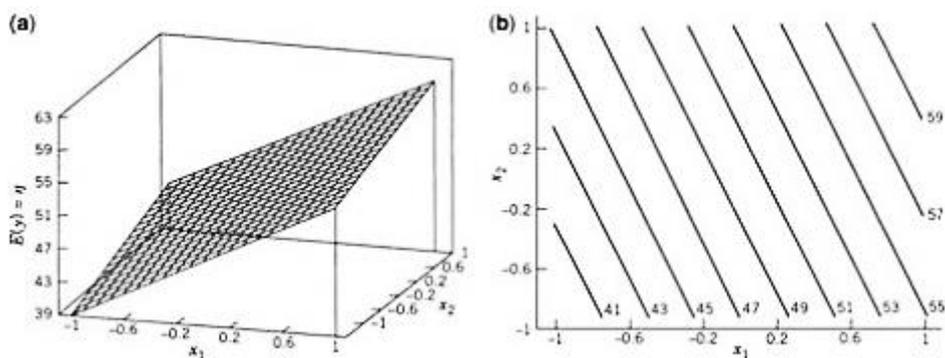


Figura 11: a) Superficie de Respuesta para el primer orden y b) Gráfico de Contornos para el modelo de primer orden.

Fuente: Myers *et al.* (2016).

Si hay una curvatura en el sistema entonces se debe usarse un polinomio de orden superior, tal como el modelo de segundo orden:

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i < j}^k \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon \dots\dots\dots$$

Donde β_i son los coeficientes de regresión para los términos de primer orden, los β_{ii} son los coeficientes para los términos cuadrático puros, los β_{ij} son los coeficientes para los términos de un producto cruz y ε es el término del error aleatorio. Los términos cuadráticos puros y los de producto cruz son de segundo orden.

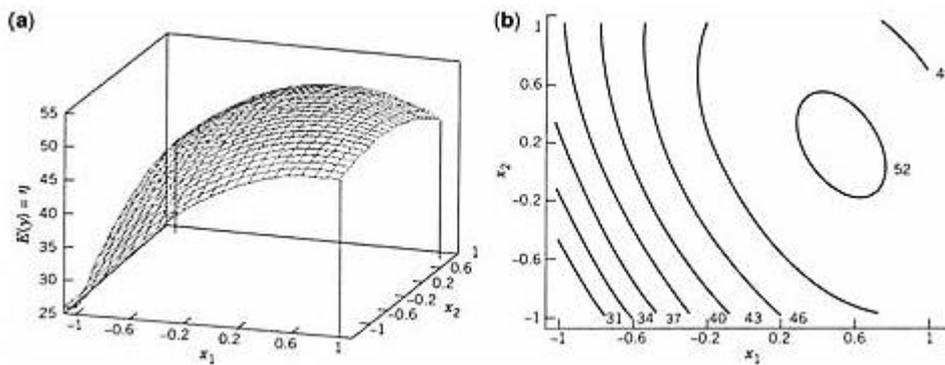


Figura 12: a) Superficie de Respuesta para el segundo orden y b) Gráfico de Contornos para el modelo de segundo orden.

Fuente: Myers *et al.* (2016).

La naturaleza geométrica de la función del segundo orden es mostrada en la Figura 12, 13 y 14 (Myers *et al.* 2016). En la Figura 12b y 13a se muestran los contornos de repuesta constante para una situación hipotética con $k = 2$ variables. En la Figura 12a, el centro del sistema, o punto estacionario, es un punto de máxima respuesta. En la Figura 14, el punto estacionario es un punto de mínima respuesta. En ambos casos la gráfica de respuesta muestra elipses concéntricas. En la Figura 15, se muestra un sistema hiperbólico de contornos. Se nota que el centro no está ni el punto máximo ni el mínimo. En este caso el punto estacionario es llamado punto silla y el sistema de contornos, silla o sistema minimax.

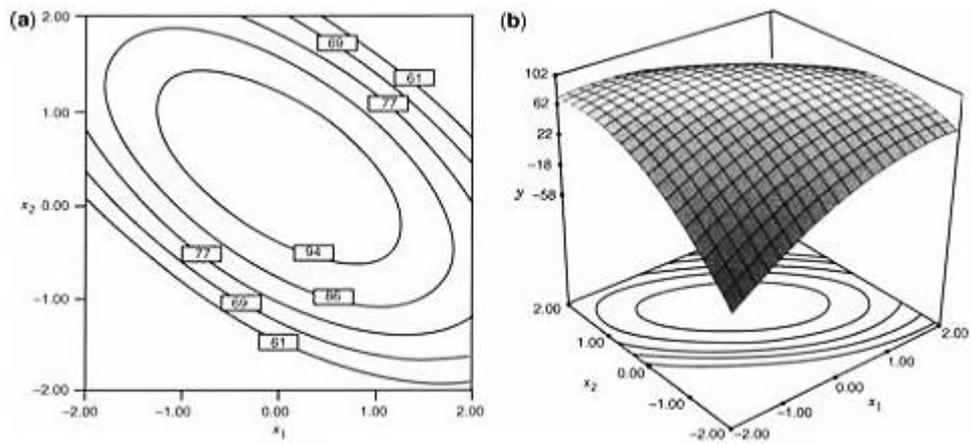


Figura 13: Sistema de segundo orden mostrando un máximo, a) Gráfica de Contornos y b) Superficie de Respuesta.

Fuente: Myers *et al.* (2016)

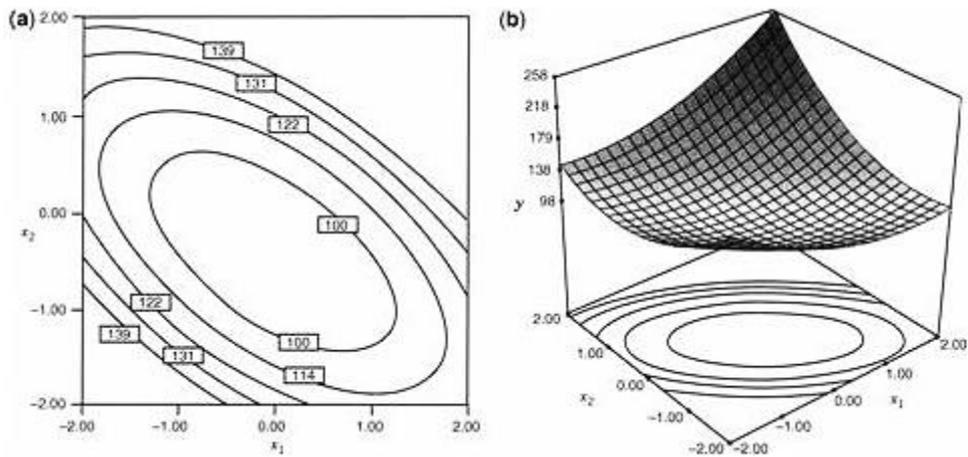


Figura 14: Sistema de segundo orden mostrando un mínimo, a) Gráfica de Contornos y b) Superficie de Respuesta.

Fuente: Myers *et al.* (2016)

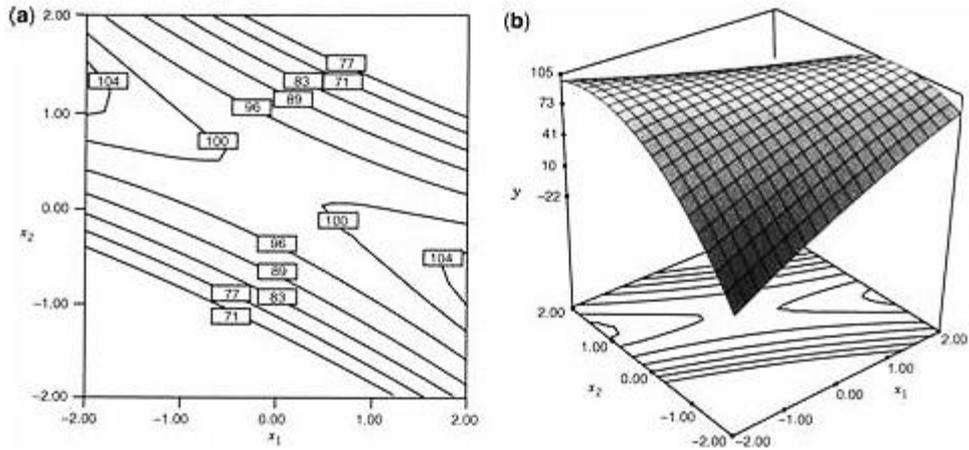


Figura 15: Sistema de segundo orden mostrando un punto silla, a) Gráfica de Contornos y b) Superficie de respuesta.

Fuente: Myers *et al.* (2016)

Otro sistema es el ascenso de cordillera, el cual sugiere el movimiento hacia fuera de la región experimental del diseño por experimentación adicional. El ascenso de cordillera es señalado por un punto estacionario que es remoto desde la región del diseño, tal como se muestra en la Figura 16.

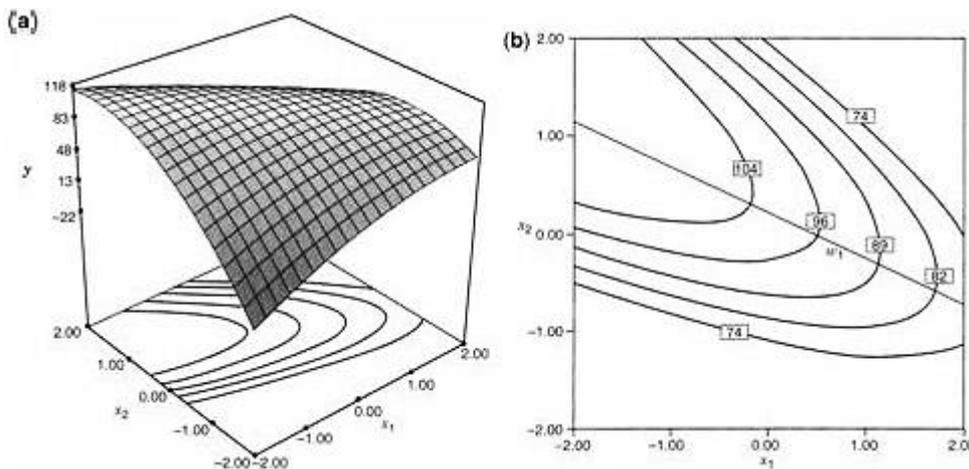


Figura 16: Sistema ascenso de cordillera para $k = 2$, a) Superficie de Respuesta y b) Gráfica de Contornos.

Fuente: Myers *et al.* (2016)

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN

El trabajo de investigación se llevó a cabo en la Planta Piloto de Alimentos y en los laboratorios de Análisis Fisicoquímico de Alimentos, Investigación, y Envases de Alimentos, pertenecientes a la Facultad de Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM).

3.2. MATERIALES Y EQUIPOS

3.2.1. Materia prima

Se utilizaron frutos de tumbo serrano *Passiflora mollissima* (H.B.K), las que son provenientes del departamento de Lima, distrito San Mateo de Otazo.

3.2.2. Insumos

- Azúcar blanca refinada.
- Almidón modificado Marca AVEBE (ELIANE).
- Ácido cítrico grado alimentario con 99,5% de pureza.
- Bicarbonato de sodio grado alimentario.
- Agua de mesa.
- Frascos de vidrio (C-267) (156 ml de capacidad).
- Tapas twist off de 53 mm.

3.2.3. Equipos

- Pulpeadora.

- Marmita.
- Autoclave vertical de 100 litros de capacidad.
- Potenciómetro digital HANNA Instruments, modelo Hi 9025 microcomputer pHmeter.
- Refractómetro digital ATAGO de bolsillo PAL -1 con rango de 0 - 53 °Brix.
- Balanza analítica marca OHAUS con capacidad de 0 -100 g.
- Sistema DATATRACE TEMP SYSTEM, el cual está comprendido por:
 - Un dispositivo que registra la temperatura y el tiempo, llamado TRACER MICROPACK®.
 - Un módulo PC Interface utilizado para programar y leer los tracers.
 - Software Datatrace para Windows XP®.
- Potenciómetro digital Schott, modelo Handylab.
- Refractómetro Spectronic Instrument Unicam (0-50 %).
- Espectrofotómetro Thermo Spectronic, modelo Genesys G.
- Mufla digital, Thermolyne 1400.
- Estufa digital MMM, de aire forzado.
- Balanza analítica digital, Sartorius CP 224S.
- Balanza de precisión digital, OHAUS, Scout Pro de 2 kg.
- Centrífuga digital Hettich, MIKRO 22R.
- Cocinilla con agitador magnético, CAT M6.
- Cronómetro digital.

3.2.4. Materiales

- Material de vidrio (buretas, fiolas, matraces, beakers, pipetas, tubos de ensayo, vaguetas).
- Tubos falcón de 50 ml.
- Micropipeta BRAND, 5 - 100 ul.
- Micropipeta BRAND, 100 - 1000 ul.
- Gradilla.
- Piceta.

3.2.5. Reactivos

- Solución de Feling A.
- Solución de Feling B.
- Azul de metileno.
- Solución de NaOH 1N.
- Solución de acetato de plomo.
- Solución de oxalato de sodio.
- Solución alcohólica de Fenolftaleína.
- Folin Ciocalteu.
- Carbonato de sodio.
- Ácido gálico estándar.
- Etanol (96%).
- Acetona.
- Hidrobutil tolueno (BHT).
- Hexano.
- Betacaroteno estándar.
- Ácido acético glacial.
- Trolox.
- Persulfato de potasio.
- 2, 2'- azinobis-[3-ethylbenz thiazoline-6-sulfonic] (ABTS).
- Ácido ascórbico.
- Folin Ciocalteu.
- 2, 6-dicloro indofenol.
- Bicarbonato de sodio.
- Ácido metafosfórico.

3.3. MÉTODOS DE ANÁLISIS

3.3.1. Análisis proximal

- Humedad: Método de la AOAC (2012). Método 934.06.
- Cenizas: Método de la AOAC (2012). Método 940.26.

- Proteína: Método semi/micro Kjeldahl recomendado por la AOAC (2012) empleando el factor 6,25 para obtener proteína total.
- Grasa: Método Soxhlet, AOAC (2012).
- Fibra bruta: Método de la AOAC (2012).
- Carbohidratos (g/100g) descrito por Pearson (1976).
- Energía total (Kcal/100g) descrito por Pearson (1976).

3.3.2. Análisis fisicoquímico

- Acidez total: Método de titulación con NaOH 0.1N y expresada como ácido cítrico (%), método de la AOAC (2012).
- pH: Método potenciométrico sugerido por la AOAC (2012).
- Sólidos solubles: mediante un refractómetro expresado en °Brix, recomendado por la AOAC (2012).
- Azúcares reductores (g/100 g): Método de Lane y Enyon descrito por Pearson (1976).
- Índice de madurez. Relación de los sólidos solubles entre la acidez para el tumbo serrano (Reina *et al.* 1995).
- Análisis colorimétrico. Medida de color a través del Colorímetro Minolta.
- Actividad de agua (a_w). Medida de la actividad de agua mediante uso del determinador Marca Aqualab®.

3.3.3. Compuestos bioactivos y capacidad antioxidante

- Vitamina C (Ácido ascórbico). Titulación volumétrica con el reactivo 2,6 diclorofenol- indofenol AOAC (2012).
- Carotenos totales: Método Talcott y Howard (1999).
- Compuestos fenólicos totales: Método Singleton y Rosi (1965).
- Capacidad antioxidante: Método ABTS propuesto por Arnao (2001).

3.3.4. Características físicas

- Tamaño, peso y color del fruto NTC 1262 (1979).
- Viscosidad para la pulpa: Siguiendo la metodología propuesta por Santos *et al.* (2013). Se utilizó un viscosímetro rotacional de cilindros concéntricos La velocidad de rotación 100 rpm a 25°C, utilizando accesorio ULA.
- Medición del peso bruto, peso neto del puré de tumbo serrano. Metodología recomendada por la AOAC (2012).
- Medición del vacío del envase con el puré: Utilizando un vacuómetro, siguiendo la metodología recomendada por la AOAC (2012).
- Viscosidad del puré: Siguiendo la metodología propuesta por Taimmanenate (1980). Viscosímetro rotacional Brookfield, la velocidad de rotación fue de 30 rpm a 25°C, utilizándose el spindle RV N°5.

3.3.5. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

- Numeración de mohos y levaduras: Método recomendado por la ICMSF (2000).
- Numeración de bacterias aerobios mesófilos viables: Método recomendado por la ICMSF (2000).

3.4. PROCESO DE ELABORACIÓN DEL PURÉ DE TUMBO SERRANO

En la Figura 17, se describen las operaciones unitarias para la elaboración del puré de tumbo serrano (*Passiflora mollisima*) y son detallados a continuación.

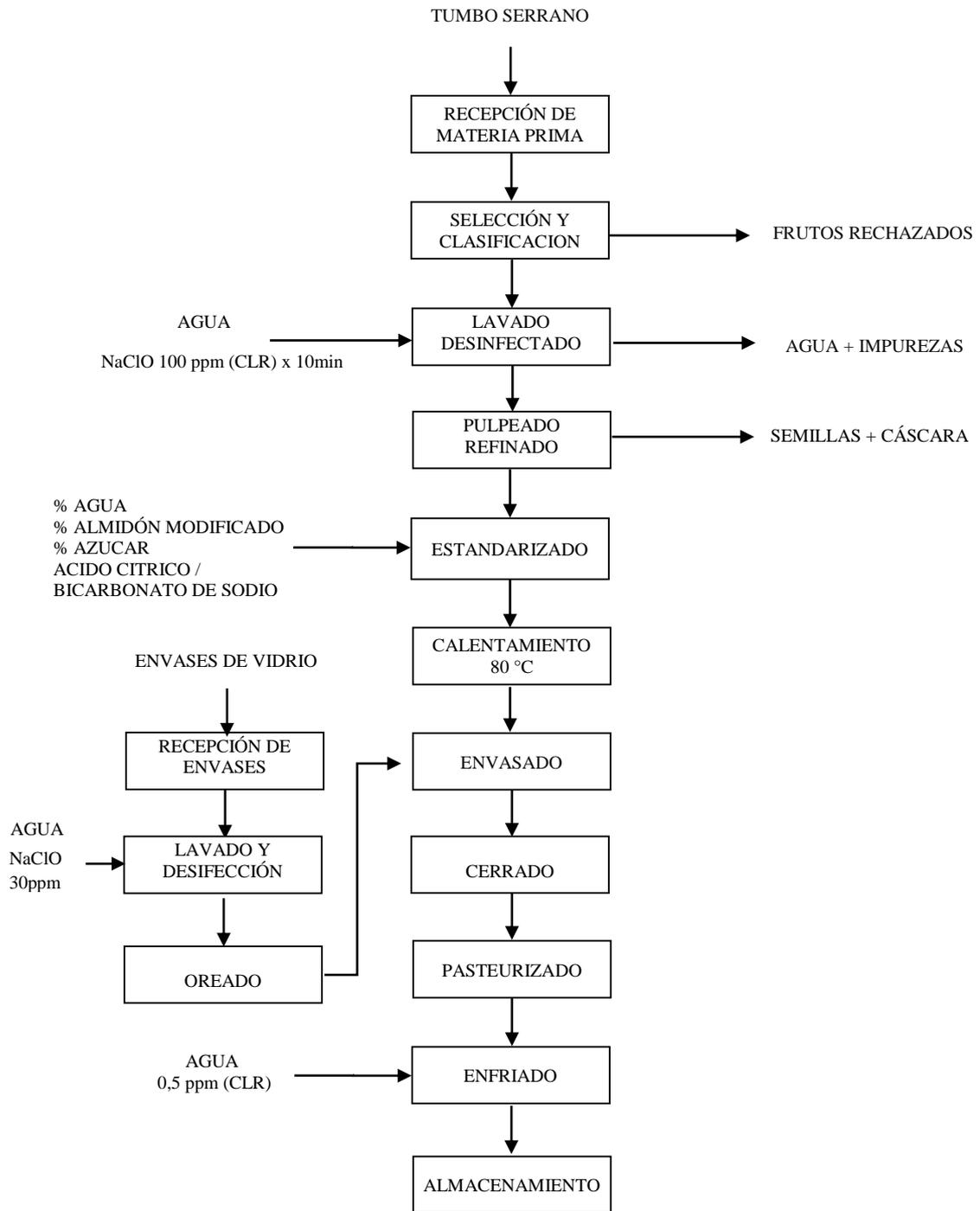


Figura 17: Flujo de operaciones para la elaboración de puré de tumbo serrano (*Passiflora mollisima*).

a. Recepción de Materia Prima

El tumbo serrano que fue empleado provino del departamento de Lima (San Mateo de Otao). La materia prima se pesó para poder evaluar el rendimiento.

b. Selección y Clasificación

La fruta estuvo en un estado fisiológico que permita realizar el procesamiento, por lo que en la selección se eliminó aquellas que presentaron daño físico, microbiológico. La fruta seleccionada estuvo libre de golpes y magulladura, pliegues o arrugas, cicatrices y rajaduras. La clasificación se realizó de acuerdo al tamaño y al índice de madurez con el fin de dar condiciones similares en el procesamiento y con esta operación se uniformizó el producto para estandarizar todas las operaciones del proceso.

c. Lavado y Desinfectado

El lavado se realizó con agua potable por inmersión y frotamiento de los frutos en agua, de manera que se pudo eliminar sustancias y partículas extrañas. Luego estas fueron sumergidas en una solución de hipoclorito de sodio a 100 ppm de CLR por 10 min, a fin de reducir la posible carga microbiana que pudo contener la fruta.

d. Pulpeado - Refinado

Se llevó a cabo en una pulpeadora acondicionada con mallas apropiadas N° 0,027 de 1 mm de diámetro. En esta operación se separó la pulpa de la semilla y fibra. Para la refinación se utilizarán tamices de 0,5 mm de diámetro de malla. Con este proceso se transformó la materia prima y se obtuvo un buen rendimiento, libre de semillas, buena apariencia.

e. Estandarizado

La pulpa que se obtuvo fue estandarizada añadiendo agua, azúcar y almidón modificado hasta que se logró una viscosidad, y °Brix requeridos. Después se homogenizó la mezcla se ajustó el pH entre (2,8 - 3,5) usando ácido cítrico o bicarbonato de sodio.

f. Calentamiento

Se calentó el producto hasta aproximadamente 80 °C en una marmita, para luego realizar un envasado en caliente.

g. Envasado

El puré se envasó en frascos de vidrio de 156 ml de capacidad, previamente desinfectados.

h. Cerrado

Se cerraron con tapas de metal e inmediatamente se invirtieron con el fin de esterilizar las tapas.

i. Pasteurizado

El puré fue sometido a pasteurización en una autoclave vertical, con el propósito de inactivar la posible carga microbiana capaz de alterar el producto y los que puedan originar intoxicaciones alimentarias.

j. Enfriado

Se redujo la temperatura usando agua a 20°C clorada con 0,5 ppm de CLR hasta que descendió a 40 °C, lo que permitió la evaporación posterior del agua de la

superficie, con esto se evitó el posible deterioro de la tapa de metal del envase. Esta operación condensó el vapor presente en el espacio de cabeza y generó el vacío posteriormente de 12 inHg aproximadamente.

k. Almacenamiento

El producto envasado se almacenó por un periodo de 30 días en un lugar fresco y ventilado, para inspeccionar la variación que pudiera sufrir el producto durante este tiempo tales como formación de gas o enturbiamiento, etc.

3.5. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

En la Figura 18, se muestran las etapas planteadas para la investigación.

3.5.1. Caracterización de la materia prima

a. Análisis proximal

Se realizaron los siguientes análisis a la pulpa del fruto, el cual consistió en: Humedad (g), Cenizas totales (g/100g), Grasa (g/100g), Proteínas (g/100g), Fibra cruda (g/100g), Carbohidratos (g/100g) y Energía total (kcal/100g).

b. Análisis fisicoquímico

Se realizaron los siguientes análisis a la pulpa del fruto, y fueron los siguientes: acidez total, pH, sólidos solubles, azúcares reductores, índice de madurez, análisis colorimétrico y actividad de agua (a_w).

c. Compuestos bioactivos y capacidad antioxidante

Se realizaron análisis para determinar el contenido de ácido ascórbico, carotenos, compuestos fenólicos y capacidad antioxidante para la pulpa del fruto.

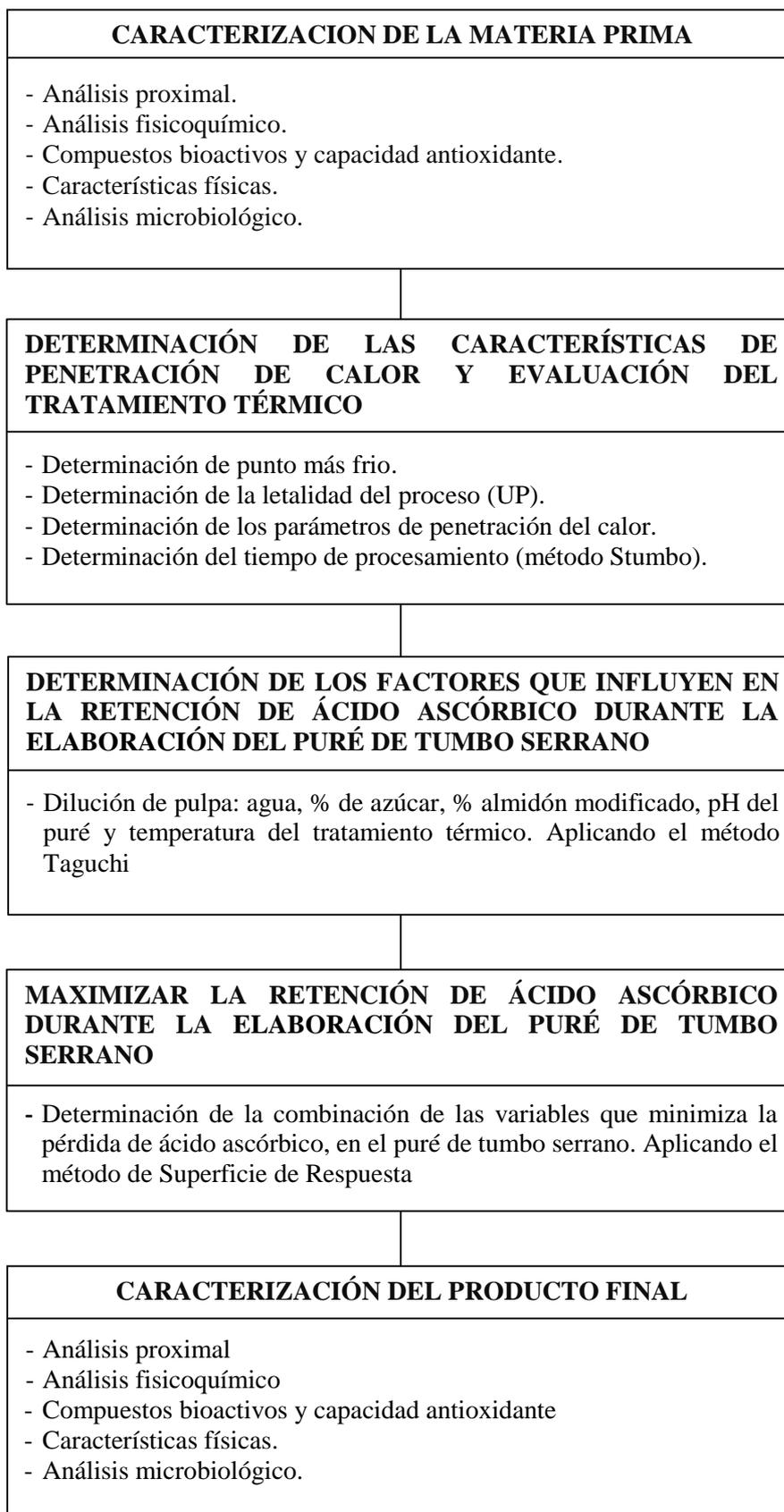


Figura 18: Etapas de la investigación para la elaboración del puré de tumbo serrano.

d. Características físicas

Se clasificó el fruto en un estado de madurez intermedia (pintón), tal como lo menciona (Reina *et al.* 1995) y la NTC 1262 (1979). A la que se le realizaron las siguientes características: largo (cm), diámetro (cm), peso y color de cascara.

e. Análisis microbiológico

Se realizó un análisis microbiológico de la materia prima antes de ser sometida al tratamiento térmico. Se determinó la cantidad de mohos (ICMSF 2000), para conocer la carga inicial microbiana y realizar el cálculo del F_0 (UP) que requiere la elaboración de puré de tumbo.

3.5.2. Determinación de las características de penetración de calor y evaluación del tratamiento térmico

a. Determinación del punto más frío del envase.

El puré de tumbo fue envasado en frascos de vidrio de 156 ml de capacidad con un diámetro de 57,20 mm y una altura de 86,79 mm. Se colocaron los frascos envasados en la autoclave a la temperatura del vapor de 100°C para monitorear su cinética de calentamiento.

Se utilizó el programa DATA TRACE SYSTEM[®], los sensores fueron colocados en el puré de tumbo envasado en frasco de vidrio a 1/3 de la altura del envase (punto inferior), (punto intermedio entre el 1/2 y 1/3 de la altura del envase) y 1/2 de la altura del envase (punto superior o centro geométrico) con respecto a la base. Con los datos obtenidos de Temperatura (T°) y tiempo (t), se determinó el punto más frío, utilizando como referencia el valor f_h más alto, recomendado por Ball y Olson (1957).

b. Determinación de la letalidad del proceso (UP).

Se utilizó una temperatura de la retorta (TR) de 100°C por 32 min que permitió hallar el UP del proceso para el puré de tumbo de serrano en envase de 156 ml. El valor UP requerido fue determinado usando como referencia al *Byssochlamys fulva* que se consideró como microorganismo cuyo valor de $D_{93,3^{\circ}\text{C}}$ de 1 minuto con $Z = 8,9^{\circ}\text{C}$ (Hurtado 1987).

c. Determinación de los parámetros de penetración del calor.

El producto se sometió a 100°C por 32 min, registrándose los datos de tiempo - temperatura del punto de calentamiento más frío determinando anteriormente, para esta prueba se usó dos sensores, uno para el producto y otro para la autoclave. Con los datos obtenidos se obtuvo gráficas de curvas calentamiento y enfriamiento, con lo que se determinó:

- La inversa de la pendiente de la curva de calentamiento (f_h).
- La inversa de la pendiente de la curva de enfriamiento (f_c).
- La temperatura pseudoinicial de calentamiento (T_{pi_h}).
- La temperatura pseudoinicial de enfriamiento (T_{pi_c}).
- El factor del retraso en el calentamiento (j_h).
- El factor del retraso en el enfriamiento (j_c).

d. Determinación del tiempo de procesamiento (método Stumbo).

El valor UP a 93,3°C, fue determinado en función a la cantidad de microorganismos iniciales de la materia prima y al nivel de reducción que necesita el producto. Conociendo los Valores de UP y Z del *Byssochlamys fulva*, y los valor f_h , f_c , j_h , j_c , T_{pi_h} y T_{pi_c} de la curva de penetración de calor del alimento determinada anteriormente, así como la tabla de relaciones de f_h/U : g para $Z=8,9^{\circ}\text{C}$ (16°F) tomada de Stumbo (1973). El cálculo del tiempo del tratamiento térmico se siguió la metodología de (Stumbo 1973), que ha sido detallado en el Anexo 6.

3.5.3. Determinación de los factores que influyen en la retención de ácido ascórbico durante la elaboración del puré de tumbo serrano

Se determinaron los factores que influyen significativamente ($p < 0,05$) en la retención del ácido ascórbico durante la elaboración del puré de tumbo, para lo cual se realizaron los ensayos de acuerdo al diseño experimental propuesto para esta etapa. Se considera como factores las variables: dilución pulpa: agua, % azúcar, % almidón, pH del puré de tumbo y la temperatura del tratamiento térmico, cada una con dos niveles, tal como se describe en la Tabla 8.

Se utilizó la metodología Taguchi (Gutiérrez y De la Vara 2012), que consistió en trabajar un arreglo ortogonal $L_8(2^7)$, que involucra un análisis de efectos de 7 factores con dos niveles (máximo y mínimo), lo que originó a 8 tratamientos a ensayar, los cuales son detallados en la Tabla 9.

Tabla 8: Factores de variabilidad en el estudio.

FACTORES	Niveles	
	1 (Mínimo)	2 (Máximo)
F1 → Dilución (pulpa: agua)	2	4
F2 → % azúcar	14,5	16,5
F3 → % almidón modificado	4	4,5
F4 → pH del puré	2,8	3,5
F5 → Temperatura del tratamiento térmico (°C)	85	95
F6 → Interacción F1 x F5	-	-
F7 → Interacción F2 x F5	-	-

Este número de ensayos representaron el total de los 128 que corresponden a un diseño factorial de 2^7 experimentos. Con este análisis se obtuvieron 8 tratamientos, los que fueron trabajados por duplicado determinándose la cantidad de ácido ascórbico después de su aplicación. Los cuales fueron obtenidos usando el método Taguchi con el software STATISTICA 7. Los factores significativos, fueron los siguientes: Dilución (pulpa: agua) y la temperatura del tratamiento térmico (°C).

Tabla 9: Tratamientos obtenidos por el arreglo ortogonal L₈ (2⁷).

FACTORES DE CONTROL							
Tratamiento	Dilución (pulpa: agua)	% azúcar	% almidón	pH del puré	Temp Tratamiento Térmico (°C)	F1xF5 Iteracción	F2xF5 Iteracción
1	1:2	14.5	4	2.8	85	-	-
2	1:2	14.5	4	3.5	95	-	-
3	1:2	16.5	4.5	2.8	85	-	-
4	1:2	16.5	4.5	3.5	95	-	-
5	1:4	14.5	4.5	2.8	95	-	-
6	1:4	14.5	4.5	3.5	85	-	-
7	1:4	16.5	4	2.8	95	-	-
8	1:4	16.5	4	3.5	85	-	-

3.5.4. Maximización de la retención de ácido ascórbico durante la elaboración del puré de tumbo serrano

Para la maximización de la retención de ácido ascórbico se utilizó el método de Superficie de Respuesta ($\alpha = 0,05$), esta se aplicó a los factores que influyen significativamente en la retención del ácido ascórbico, hallados por el método Taguchi.

El diseño estadístico de Método de Superficie de Respuesta se realizó aplicando el diseño 3², donde 2 es el número de factores que afectan significativamente la retención del ácido ascórbico, estos factores que se hallaron en la etapa anterior: dilución (pulpa: agua) y la temperatura del tratamiento térmico (°C), obteniendo 9 tratamientos y se realizó por duplicado resultando 18 tratamiento. Los cuales fueron analizados con el software STATGRAPHICS CENTURIÓN 16.1.02.

3.5.5. CARACTERIZACIÓN DEL PRODUCTO FINAL

En el producto final, se elaboró en base a los factores que maximizan la retención de ácido ascórbico, se llevaron las siguientes evaluaciones:

a. Análisis proximal

Se realizaron los siguientes análisis al puré de tumbo serrano, el cual consistió en: Humedad (g), cenizas totales (g/100g), grasa (g/100g), proteínas (g/100g), fibra cruda (g/100g), carbohidratos (g/100g) y energía total (kcal/100g).

b. Análisis fisicoquímico

Se realizaron los siguientes análisis: acidez total, pH, sólidos solubles, azúcares reductores, análisis colorimétrico y actividad de agua (a_w).

c. Compuestos bioactivos y capacidad antioxidante

Se realizaron análisis para determinar el contenido de ácido ascórbico, carotenos, compuestos fenólicos, capacidad antioxidante para el puré.

d. Características físicas

Se realizaron los siguientes análisis:

Medición del peso bruto, peso neto del puré de tumbo serrano. Metodología recomendada de la AOAC (2012).

Medición del vacío del envase con el puré: Utilizando un vacuómetro, siguiendo la metodología recomendada por la AOAC (2012).

Viscosidad del puré: Según Taimmanen (1980), la velocidad de rotación fue de 30 rpm a 25°C, utilizándose el spindle RV N°5.

e. Análisis microbiológico

Se realizó un análisis microbiológico del puré para conocer la cantidad de mohos (ICMSF 2000), y así ver la efectividad del tratamiento térmico en el puré.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

4.1.1. Análisis proximal

Los resultados del análisis proximal de la pulpa de tumbo serrano *Passiflora mollissima* se pueden apreciar en el Tabla 10.

El contenido de humedad de la pulpa fue de 91,53% (g/100g) (bh) siendo mayor a lo reportado por Reyes *et al.* (2009) y Encina y Carpio (2011), los cuales fueron de 82,1% y $87,32\% \pm 1,84$ respectivamente. Wills *et al.* (1999), mencionan que las frutas y hortalizas contienen más del 80% de humedad.

La cenizas totales de la pulpa fue de 0,48 g/100g (bh), siendo un valor menor al encontrado por Reyes *et al.* (2009) y Encina y Carpio (2011), los cuales fueron de 0,8 g/100g y $0,88 \text{ g/100g} \pm 0,03$ respectivamente.

El contenido de proteínas fue de 0,84 g/100g, valor menor al reportado por Reyes *et al.* (2009) y Encina y Carpio (2011), obteniendo los siguientes resultados 1,2 g/100g y $0,92 \text{ g/100 g} \pm 0,08$ respectivamente.

El contenido de grasa fue de 0,19 g/100g, valor menor al mencionado por Reyes *et al.* (2009), el cual fue de 0,5 g/100g y mayor al hallado por Encina y Carpio (2011), que fue de 0,03 g/100g.

El contenido de proteína y grasa fueron menores, debido a que las frutas cítricas tienen un bajo contenido de proteína y grasa (Davies y Albrigo 1999).

Tabla 10: Análisis proximal de la pulpa de tumbo serrano *Passiflora mollisima*.

CONSTITUYENTE	bh	bs
Humedad (g/100g)	91,53	5,67
Cenizas Totales (g/100g)	0,48	2,24
Grasa (g/100g)	0,19	9,92
Proteína (g/100g)	0,84	0,35
Fibra Cruda (g/100g)	0,03	82,17
Carbohidratos (g/100g)	6,96	388,55
Energía Total (kcal/100g)	32,91	

El contenido de carbohidratos fue de 6,96 g/100g valor por debajo de lo hallado por Reyes *et al.* (2009), siendo 15,4 g/100g. Esto se debe tal vez al estado de madurez del tumbo. Davies y Albrigo (1999), mencionan que en frutos cítricos, los grupos más importantes de estos carbohidratos son la glucosa y la fructosa, siendo éstos los principales azúcares reductores; la sacarosa el principal azúcar no reductor y encontrándose en pequeñas cantidades celulosa, almidón, hemicelulosas y pectinas.

El contenido de fibra cruda fue de 0,03 g/100g valor inferior al presentado por Reyes *et al.* (2009) y Encina y Carpio (2011), fueron de 3,6 g/100g y $0,93 \pm 0,09$ g/100g respectivamente.

El contenido calórico hallado fue de 32,91 kcal/100g un valor menor al encontrado por Reyes *et al.* (2009), que fueron de 64 kcal/100g. Este valor es inferior debido a que presenta menor cantidad de carbohidratos.

Los resultados que se obtuvieron difieren de otros autores, tal vez debido, a la variedad, a las condiciones de cultivo, a las tierras de cultivo, al clima, a la altura en que se desarrolló los frutos y al estado de madurez.

4.1.2. Análisis fisicoquímico

Los resultados del análisis fisicoquímico son mostrados en la Tabla 11 y son los siguientes:

Tabla 11: Análisis fisicoquímico de la pulpa de tumbo serrano *Passiflora mollisima*.

CONSTITUYENTE	VALOR
Acidez total (g ac cítrico/100ml)	2,51
pH	3,28
Sólidos solubles (°Brix)	10,8
Azúcares Reductores (g)	4,60
Índice de madurez (SS/Ac)	4,30
Análisis colorímetro	L* 53,64±0,22 a* 11,67±0,88 b* 39,10±0,46
Actividad de agua (aw) a 25°C	0,987 ± 0,001

La acidez total que se obtuvo fue de 2,51 g ácido cítrico/100 ml de la pulpa valor ligeramente mayor al reportado por Reina *et al.* (1995), sostienen que el tumbo o curuba debe tener una acidez promedio de 2,5 g ácido cítrico/100 ml.

La pulpa presentó 10,8°Brix que expresa los sólidos solubles en la fruta, valor igual al reportado por Goykovic (1993), pero mayor a los 10°Brix mencionado por Reina *et al.* (1995) y menor al hallado por Encina y Carpio (2011), que fue de 12 °Brix ± 0,5.

Los azúcares reductores fue de 4,60 g/100g para pulpa de tumbo.

El índice madurez de la fruta fue de 4,30 y el estado de madurez usado fue amarillo verdoso (pintón) y con ligero ablandamiento, valor menor al reportado por Goykovic (1993), que obtiene un índice madurez de 5,26.

Para las mediciones de color, el modelo cromático utilizado fue el sistema $L^* a^* b^*$ (CIELAB), correspondiendo L^* a la luminosidad y $a^* b^*$ a la cromaticidad. Los valores de luminosidad L^* ($L^* = 0$: negro y $L^* = 100$: blanco). Valores de a^* negativos = verde mientras que valores positivos indican magenta, valores b^* negativos indican azul mientras que valores positivos indican amarillo. Las medidas obtenidas en la materia prima fueron: $L^* = 53,64 \pm 0,22$, $a^* = 11,67 \pm 0,88$ y $b^* = 39,10 \pm 0,46$. Gil *et al.* (2014), obtiene los siguientes parámetros de color para la pulpa de tumbo: $L^* = 60,8$, $a^* = 19,0$ y $b^* = 45,9$.

La actividad de agua fue de $0,987 \pm 0,001$ a 25°C , siendo un valor alto, el cual indica que necesita métodos de preservación para que pueda prolongar su conservación. Además a este valor de a_w alto muestra su velocidad máxima de crecimiento microbiano (Damodaran 2010).

Los resultados obtenidos varían con otros autores, tal vez debido al estado de madurez del fruto y otros factores, tal como lo menciona Davies y Albrigo (1999), la composición de los frutos cítricos varía con el cultivar, clima, patrón y las prácticas culturales.

4.1.3. Compuestos bioactivos y capacidad antioxidante

Los análisis para la determinación de los compuestos bioactivos y capacidad antioxidante realizados para la pulpa de tumbo serrano se muestran en la Tabla 12.

a. Ácido Ascórbico

El contenido de ácido ascórbico fue de $75,34 \pm 0,61$ mg/100g (bh) de pulpa, valor mayor al reportado por Reyes *et al.* (2009) y Contreras *et al.* (2011), quienes mencionan valores de 66,7 mg/100g (bh) y $61,5 \pm 2,40$ mg/100g (bh) de la parte comestible, respectivamente. Por otro lado, Davies y Albrigo (1999), menciona que los niveles de ácido ascórbico tienden a disminuir estacionalmente.

b. Carotenos Totales

El contenido de carotenos fue de $2,91 \pm 0,07$ mg β -carotenos eq/100g (bh) de pulpa, valor mayor que el reportado por Encina y Carpio (2011), de $1,83 \pm 0,03$ mg β -carotenos eq/100g (bh) para el tumbo serrano.

Tabla 12: Compuestos bioactivos y capacidad antioxidante de la pulpa de tumbo serrano *Passiflora mollisima*.

CONSTITUYENTE		bh	bs
Ácido ascórbico (mg/100g)		$75,34 \pm 0,61$	$887,03 \pm 4,17$
Carotenos totales (mg de β -caroteno/100g)		$2,91 \pm 0,07$	$34,41 \pm 0,80$
Compuestos fenólicos (mg ácido gálico/100g)		$100,15 \pm 2,14$	$1182,36 \pm 25,29$
Capacidad antioxidante (μ mol eq trolox/g)	Hidrofílica	$26,53 \pm 0,29$	$313,24 \pm 3,48$
	Lipofílica	$0,09 \pm 0,00$	$1,12 \pm 0,02$

c. Compuestos fenólicos

El contenido de compuestos fenólicos totales fue de $100,15 \pm 2,14$ mg ácido gálico equivalente (AGE)/100g de pulpa (bh). Encina y Carpio (2011), encuentran un valor mayor de $190,32 \pm 2,14$ mg de ácido clorogénico/100g (bh) de pulpa de tumbo serrano. Contreras *et al.* (2011), obtuvieron un valor mayor de $635 \pm 2,71$ mg AGE/100g (bh) de parte comestible del tumbo serrano (pulpa + semillas)

d. Capacidad antioxidante

La capacidad antioxidante fue de $26,53 \pm 0,29$ μ mol eq trolox/g (bh), para la fracción hidrofílica, siendo un valor menor al encontrado por Muñoz *et al.* (2007), que fue de $41,18$ μ mol eq trolox/g (bh). Contreras *et al.* (2011), quienes hallaron un valor de $131 \pm 0,64$ μ mol eq trolox /g (b.h) para la parte comestible. Mientras

que Kuskoski *et al.* (2005) reportan $67,6 \pm 0,4$ $\mu\text{mol eq trolox/g}$ (bh) para la acerola, siendo valores mayores al encontrado en la investigación.

La capacidad antioxidante lipofílica fue de $0,09 \pm 0,00$ $\mu\text{mol eq trolox /g}$, (bh) para la pulpa de tumbo serrano.

Thaipong *et al.* (2006), obtuvieron valores de $37,9 \pm 3,4$ $\mu\text{mol eq trolox /g}$ y $0,38 \pm 0,10$ $\mu\text{mol eq trolox /g}$ (bh) para la fracción hidrofílica y lipofílica de la guava blanca respectivamente, siendo valores mayores a los encontrados en la investigación.

Los compuestos bioactivos y la capacidad antioxidante pueden variar con el estado de madurez del fruto.

4.1.4. Características físicas

Las características físicas realizadas al tumbo, fueron: peso, diámetro, color de la fruta entre otros, que se muestran en el Tabla 13.

El estado de madurez del tumbo que se utilizó fue el estado de madurez intermedia “pintón”, como lo menciona Encina y Carpio (2011). Reina *et al.* (1995), sostiene que en un estado pintón el fruto debe tener el 50% de color amarillo. Siguiendo las especificaciones de la NTC 1262, la cual hace hincapié en la selección y clasificación de la fruta, para tener una apariencia uniforme y un adecuado proceso térmico del producto.

De acuerdo a la NTC-1262 (Curuba) se utilizó Tumbo serrano de primera calidad y tamaño 1 el cual establece que sea mayor a 70 g.

Tabla 13: Características físicas del tumbo serrano.

Características Evaluadas	Valor promedio
Diámetro (cm)	4,04 ± 0,07
Largo (cm)	10,30 ± 0,51
Peso (g)	93,60 ± 3,03
Color de cascara	Amarillo con tonos verdes
Defecto físico	No se encontraron
Viscosidad de la pulpa de tumbo serrano (cp) 25°C a 100 rpm	12,25

4.1.5. Análisis microbiológico

El análisis microbiológico realizado a la pulpa de tumbo serrano fresco fue de 1400 ufc/g mesófilos aerobios y 1600 ufc/g de hongos totales, tal como se muestra en la Tabla 14. Los análisis fueron realizados para poder conocer la carga microbiana inicial que posee la pulpa de tumbo serrano y a partir de ahí poder usar los parámetros térmicos para el microorganismo de referencia *Byssochlamys fulva* (Hurtado 1987), los parámetros de la curva de penetración de calor en el puré de tumbo y el valor P_0 (UP) requerido para el procesamiento del puré.

Los valores encontrados son relativamente bajos, lo que se debe tal vez a que la pulpa de tumbo posee una cáscara que protege a la parte comestible, que lo recubre protegiéndolo de daños físicos y microbiológicos. Además de las condiciones higiénico sanitarias aplicando las BPM.

Tabla 14: Carga microbiana en la pulpa de tumbo serrano fresco.

Microorganismo	(Ufc/g)
Aerobios Mesófilos Viables	1400
Hongos totales	1600

Obregón (2006), encontró un valor de 3163 ufc/g de hongos para los gajos de mandarina, que son valores mayores con respecto al encontrado para la pulpa del tumbo serrano.

4.2. DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE PENETRACIÓN DE CALOR Y EVALUACIÓN DEL TRATAMIENTO TÉRMICO

4.2.1. Determinación del punto más frío en el envase con puré de tumbo serrano

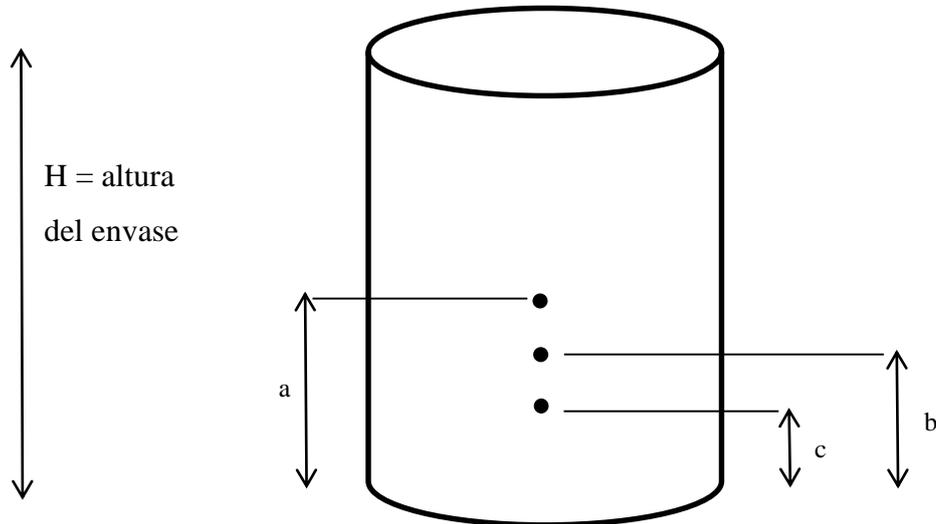
De acuerdo a lo recomendado por Ball y Olson (1957), el cual menciona que el punto más frío de un envase-producto es aquel que presenta el valor mayor (f_h), se halló el punto más frío en el envase de puré de tumbo serrano, para lo cual se usaron 3 sensores de temperatura (tracers) para registrar la temperatura (T°) versus tiempo (t) los cuales se ubicaron con respecto a la base del frasco:

- 1/3 de la altura del envase (punto inferior) 2,73 cm
- (punto intermedio entre 1/2 y 1/3 de la altura del envase) 3,42 cm
- 1/2 de la altura del envase (punto superior y centro geométrico) 4,10 cm

Se realizaron dos pruebas para determinar el punto más frío utilizando un 30% de la capacidad de la autoclave vertical. De acuerdo a la Tabla 39 y a la Tabla 40 resulta no significativo en las dos replicas que fueron realizadas a un nivel de confianza de 95%.

En la Figura 19 se muestra la ubicación de los sensores de temperatura en el envase. En la Tabla 15 y la Figura 23 se puede apreciar que el sensor de temperatura que posee el mayor valor de f_h es el punto equidistante con respecto al punto inferior y superior (centro geométrico) del envase, es ahí donde se ubica el punto más frío del producto, como se muestra en la Figura 19 y cuyos datos se muestran en el Anexo 7.

Casp y Abril (1999), mencionan que para productos que se calientan por convección en envases cilíndricos, el punto más frío se localiza en el eje longitudinal a $1/5$ de la altura, medido de la base.



Dónde:

a : $1/2$ de la altura del envase, punto superior o centro geométrico = 4.10 cm

b : punto intermedio entre $1/2$ y $1/3$ de la altura del envase

c : $1/3$ de la altura del envase = 2.73 cm

Figura 19: Ubicación de los sensores de temperatura en el envase.

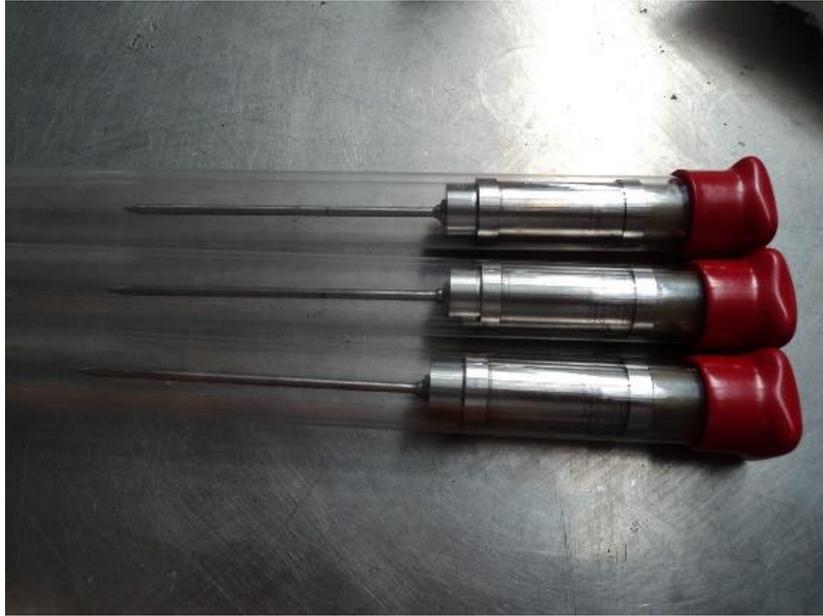


Figura 20: Ubicación de los sensores en los frascos de puré de tumbo colocados en la autoclave vertical.



Figura 21: Sensores para medir la temperatura.

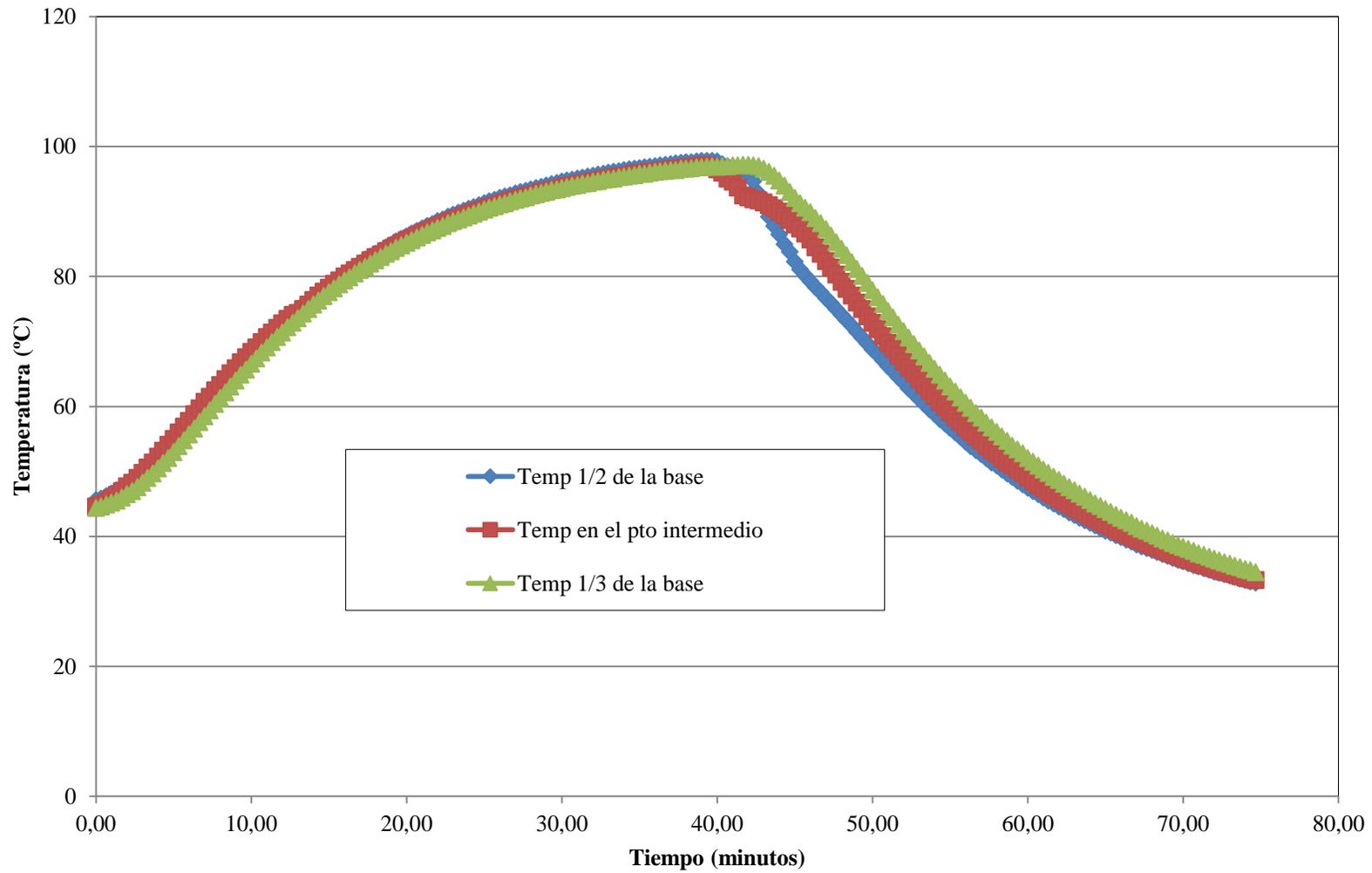


Figura 22: Determinación del punto más frío del puré de tumbo serrano en envase de vidrio de 156 ml.

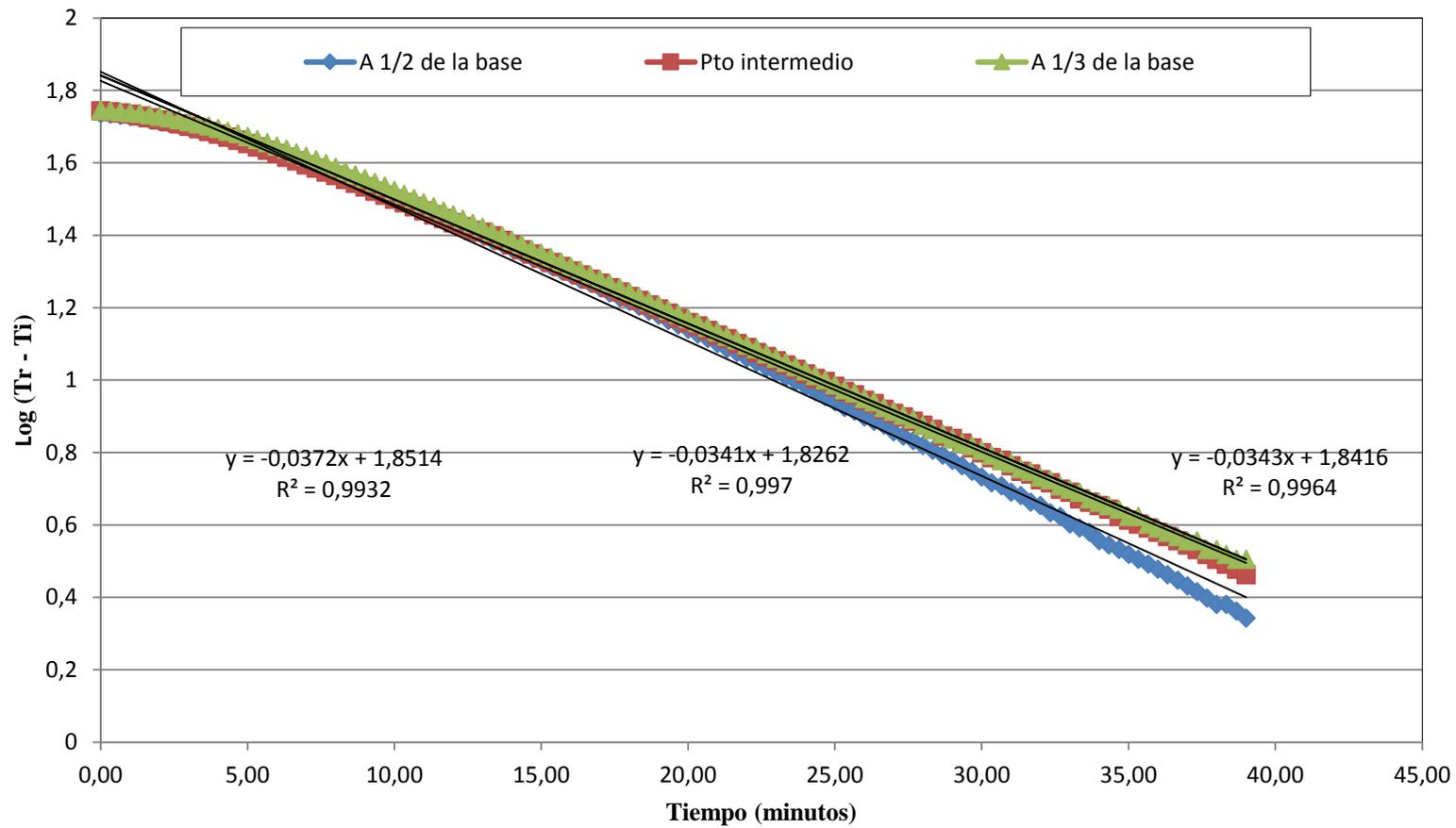


Figura 23: Determinación del punto más frío del puré de tumbo serrano mediante el valor de fh.

Tabla 15: Valores de f_h obtenidos para la selección del punto más frío en el puré de tumbo serrano.

Ubicación del punto	f_h (min)
1/2 desde la base (4,10 cm)	25,89
Punto intermedio (3,42 cm)	28,53
1/3 desde la base (2,73 cn)	28,31

4.2.2. Determinación de la letalidad del proceso (UP)

Se determinó el valor UP usando como referencia al *Byssochlamys fulva* microorganismo cuyo valor de D 93,3°C de 1 min con un valor de Z de 8,9°C (16°F) (Hurtado 1987). Se utilizó una temperatura de la retorta (TR) a 100°C por 32 min, usando la ecuación 1 se integró el área bajo la curva con el método del trapecio obteniendo un valor UP de 4.5 min, que se muestra en la Figura 24 y los datos se muestran en el Anexo 8.

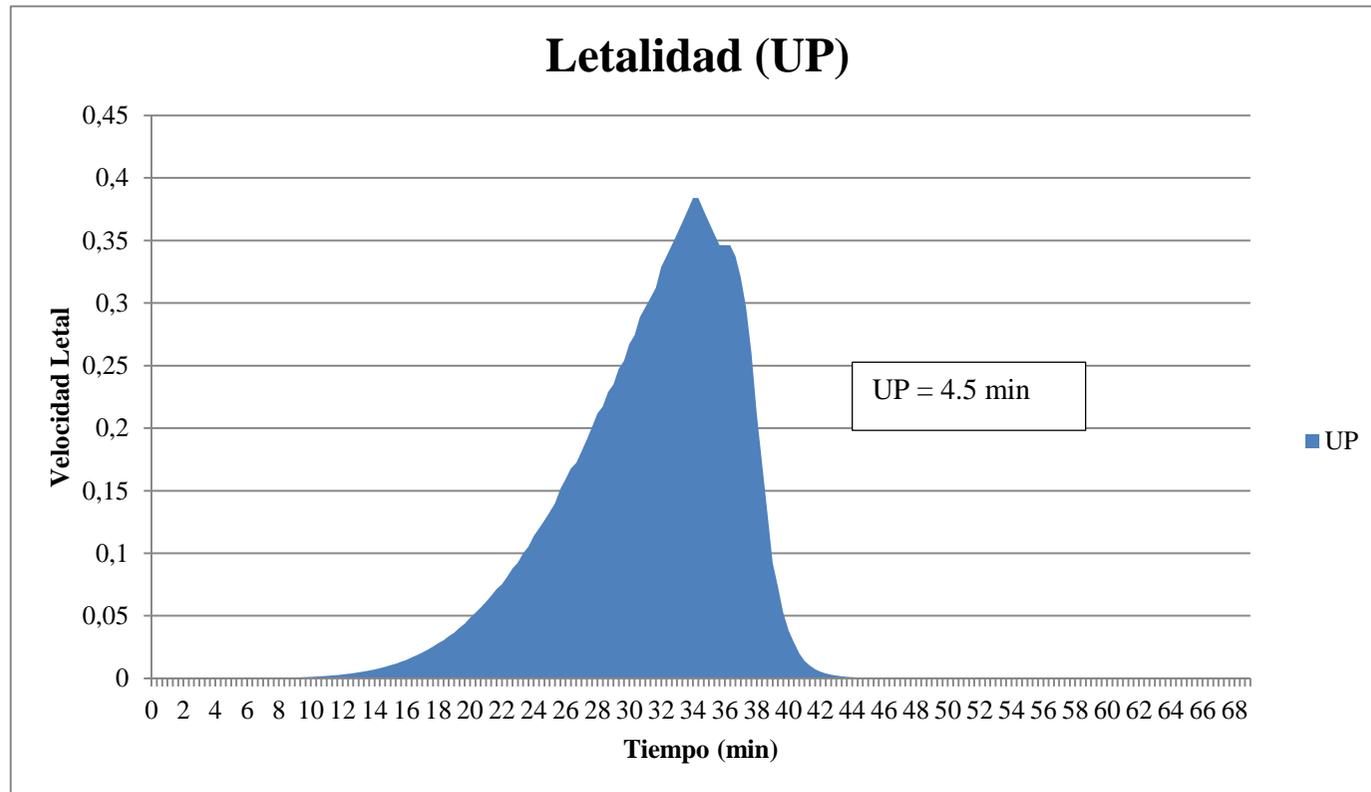


Figura 24: Curva de Letalidad (UP) a 100°C x 32 min para el puré de tumbo serrano en envase de vidrio de 156 ml.

4.2.3. Determinación de los parámetros de penetración de calor

Las curvas de calentamiento y enfriamiento obtenidas para determinar los parámetros de penetración de calor se presentan en las Figuras 25 y 26 y los datos experimentales en el Anexo 9 y 10.

Se puede apreciar el comportamiento lineal de estas curvas debido a su alto coeficiente de correlación R^2 (0,99).

Los valores de f_h y f_c presentan una diferencia de 12,1 min que representa un 40.44% con respecto al valor de f_h . El valor f_h , es un parámetro que caracteriza a la curva de calentamiento, el valor obtenido significa que se necesita de 29.92 min para que la temperatura en un punto determinado aumente en un 90%, es decir, para que atraviese un ciclo logarítmico. Por lo tanto cuando el valor de f_h es menor, la inclinación de la curva es mayor, indicando que la transmisión de calor en el alimento es más rápida, lo que sucede en alimentos calentados por convección.

El valor f_c , hallado a partir de la curva de enfriamiento es igual 42 min, que es lo que se requiere para que atraviese un ciclo logarítmico para que la temperatura disminuya en 90%.

Stumbo (1973) sostiene que en alimentos donde exista convección pura j_c será igual a 1 y donde existan conducción pura el j_c será de 2. Afirma también de ser una convección o conducción pura el valor de f_h y f_c serán iguales.

Con el valor de j_c es 1,09 obtenido de manera experimental, se puede afirmar que el puré de tumbo presenta una transferencia de calor por convección, debido a que se encuentra cercano a $j_c = 1$.

Los parámetros de la curva de calentamiento y enfriamiento son mostrados en la Tabla 16.

Tabla 16: Parámetros de las curvas de calentamiento y enfriamiento del puré de tumbo serrano.

Parámetro de calentamiento	Parámetro de enfriamiento
$f_h = 29.92 \text{ min}$	$f_c = 42 \text{ min}$
$T_{psi_h} = 46,74 \text{ }^\circ\text{C}$	$T_{psi_c} = 106,96 \text{ }^\circ\text{C}$
$j_h = 1,21$	$j_c = 1,09$
$T_o = 56 \text{ }^\circ\text{C}$	$T_g = 96,2 \text{ }^\circ\text{C}$

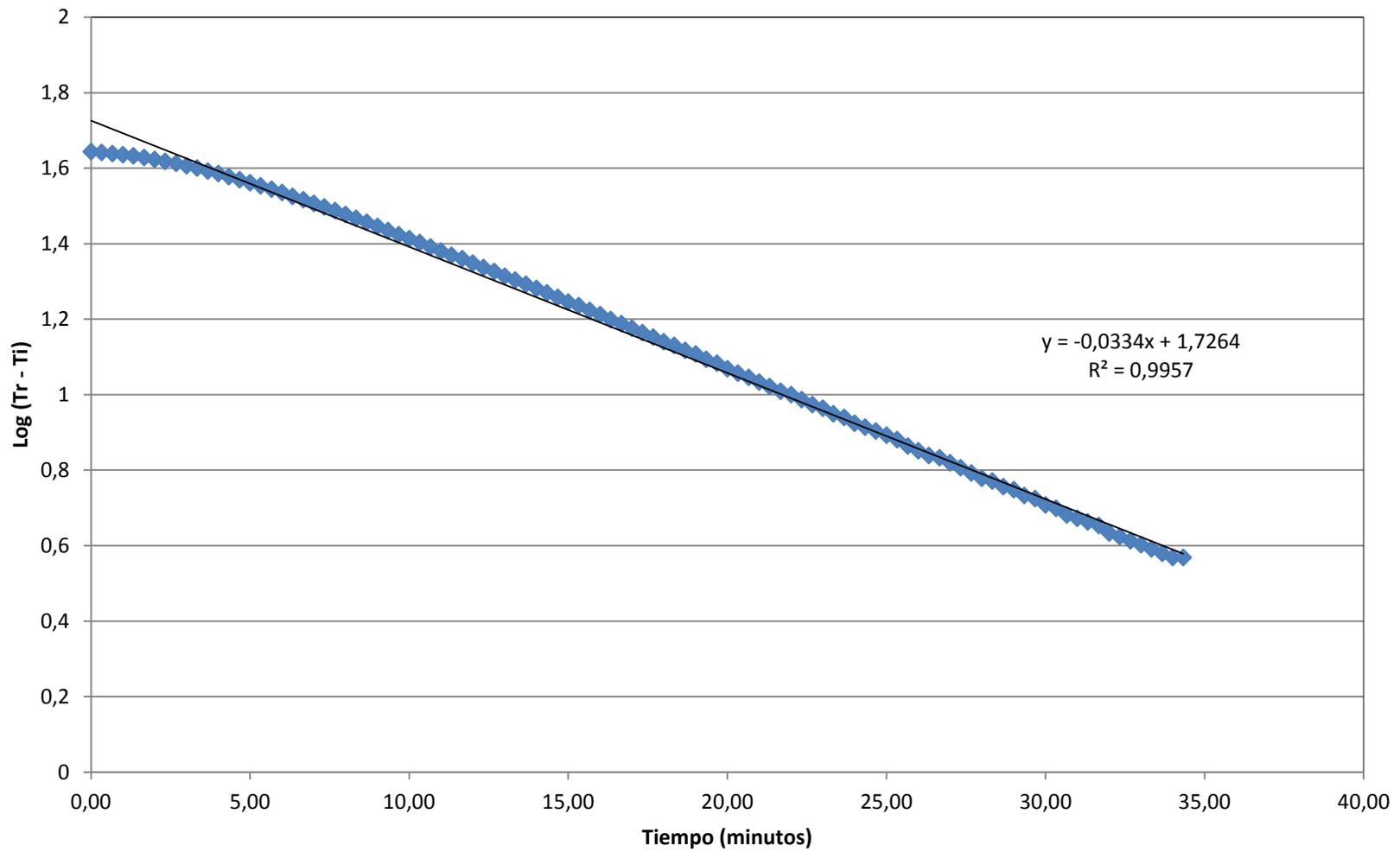


Figura 25: Curva de calentamiento del puré de tumbo serrano.

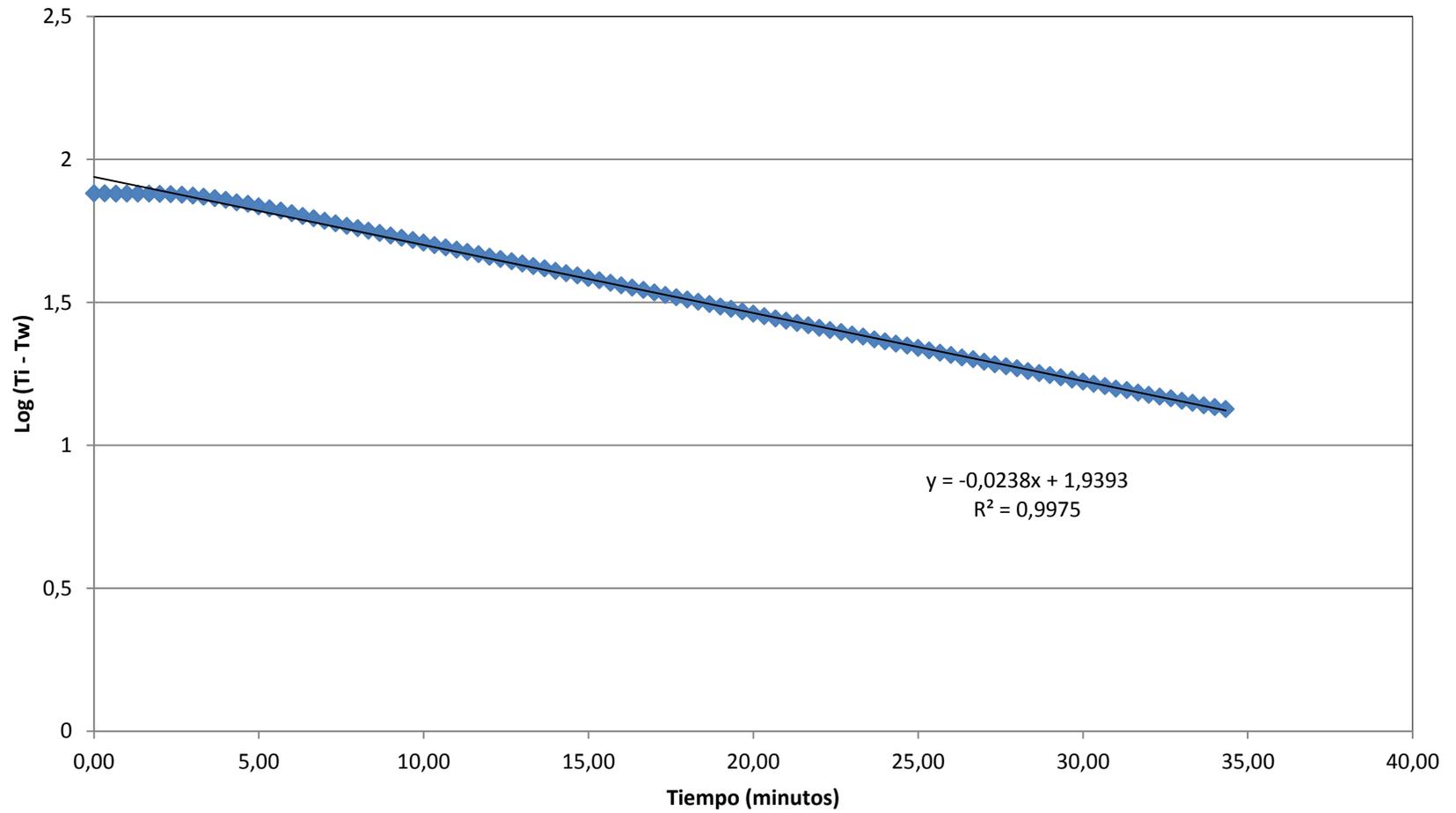


Figura 26: Curva de enfriamiento para el puré de tumbo serrano.

4.2.4. Determinación del tiempo de procesamiento (método Stumbo)

Para el proceso se halló el P_0 (UP) considerando la carga microbiana inicial de la materia prima $1,6 \times 10^3$ ufc/g (hongos) para reducirlo a $1,6 \times 10^{-2}$ ufc/g obteniendo un $P_{93,3^\circ C}^{8,9^\circ C}$ de 5.00 min, que son 5D (5 reducciones), tal como lo menciona Ranganna (1977), quien sugiere aplicar niveles de reducción de 3 a 5 ciclos logarítmicos para conservas de pH menores de 4,5. La severidad del tratamiento térmico depende de la resistencia térmica del microorganismo objetivo, su carga microbiana inicial, características de transferencia de calor del alimento y las características del medio de calentamiento (Silva y Gibbs 2004).

En la Figura 27 se puede apreciar la variación de temperatura en función del tiempo, usando la ubicación hallada en el punto más frío (obtenido) y la temperatura de la retorta en función del tiempo de pasteurización, obtenida a partir de datos experimentales, los cuales se muestran en el Anexo 8. El CUT (tiempo de levante), el perfil de calentamiento y enfriamiento se pueden apreciar claramente en el Anexo 9 y Anexo 10.

En el Tabla 17 y el Anexo 12 se presentan los valores y cálculos de los tiempos de procesamiento, hallados respectivamente para el puré de tumbo serrano, realizados por el método de Stumbo (1973).

En la Figura 27, el producto no llegó a la temperatura de la retorta debido a que se utiliza almidón modificado, a medida que transcurría el calentamiento el almidón se gelatinizaba. Se detuvo el calentamiento debido a que el incremento de temperatura en el producto disminuyó notablemente.

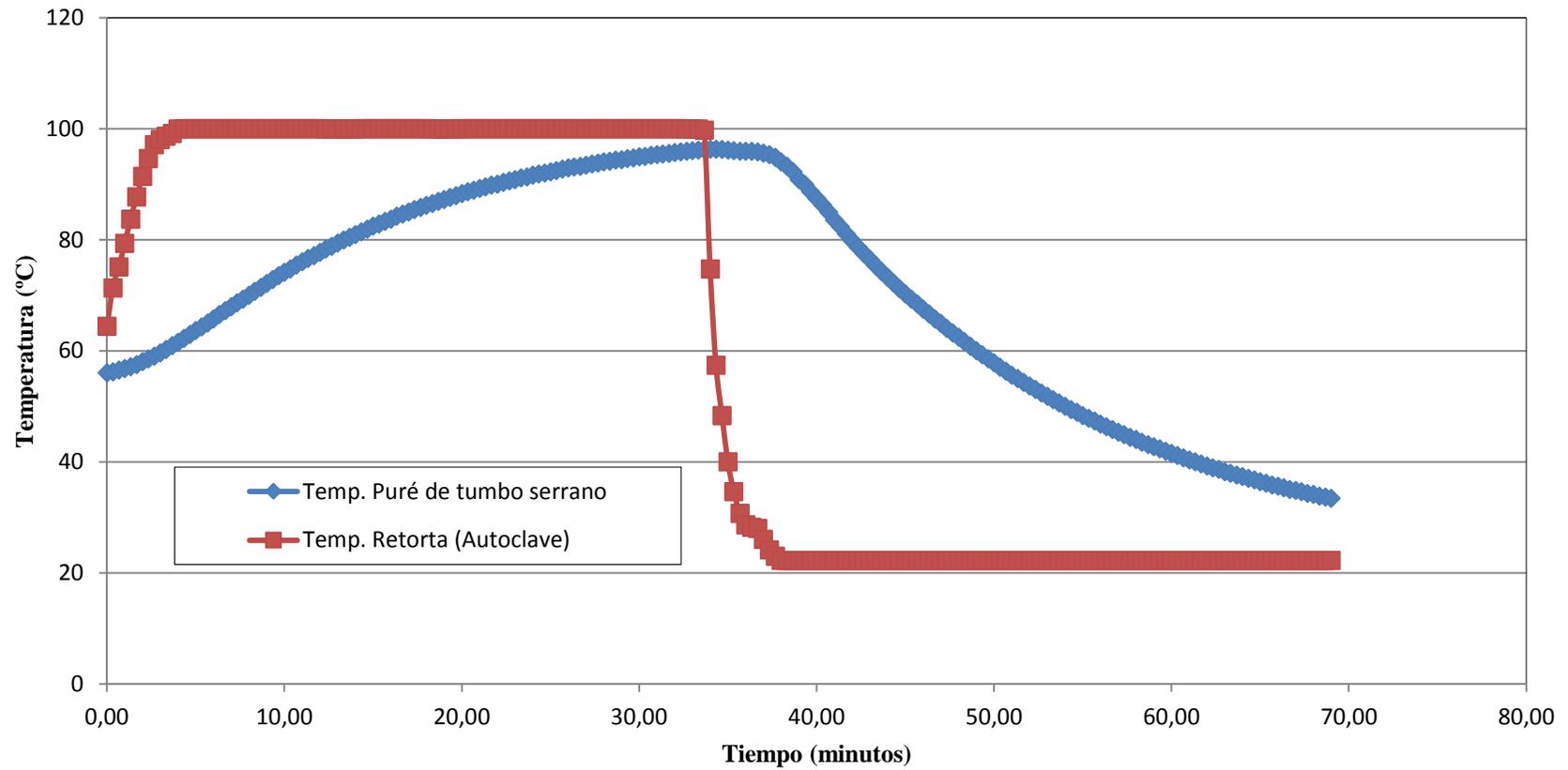


Figura 27: Temperatura y tiempo para el proceso de pasteurización del puré de tumbo serrano.

Tabla 17: Tiempos de procesamiento para la elaboración de puré de tumbo serrano, obtenido por método Stumbo (1973).

Temperatura de la retorta (°C)	Tiempo de procesamiento (min)
85	76,33
90	43,30
94,04	32,40
95	30.63
100	23,69

La resistencia térmica para el *Byssochlamys fulva* fue representado por la curva de letalidad equivalente que fue hallada al graficar el tiempo de procesamiento (min) con la temperatura (°C), cuyo gráfico es mostrado en la Figura 28. Los tiempos de la curva fueron aquellos que destruyen las esporas en 90% o más, pero no en su totalidad (Stumbo 1973).

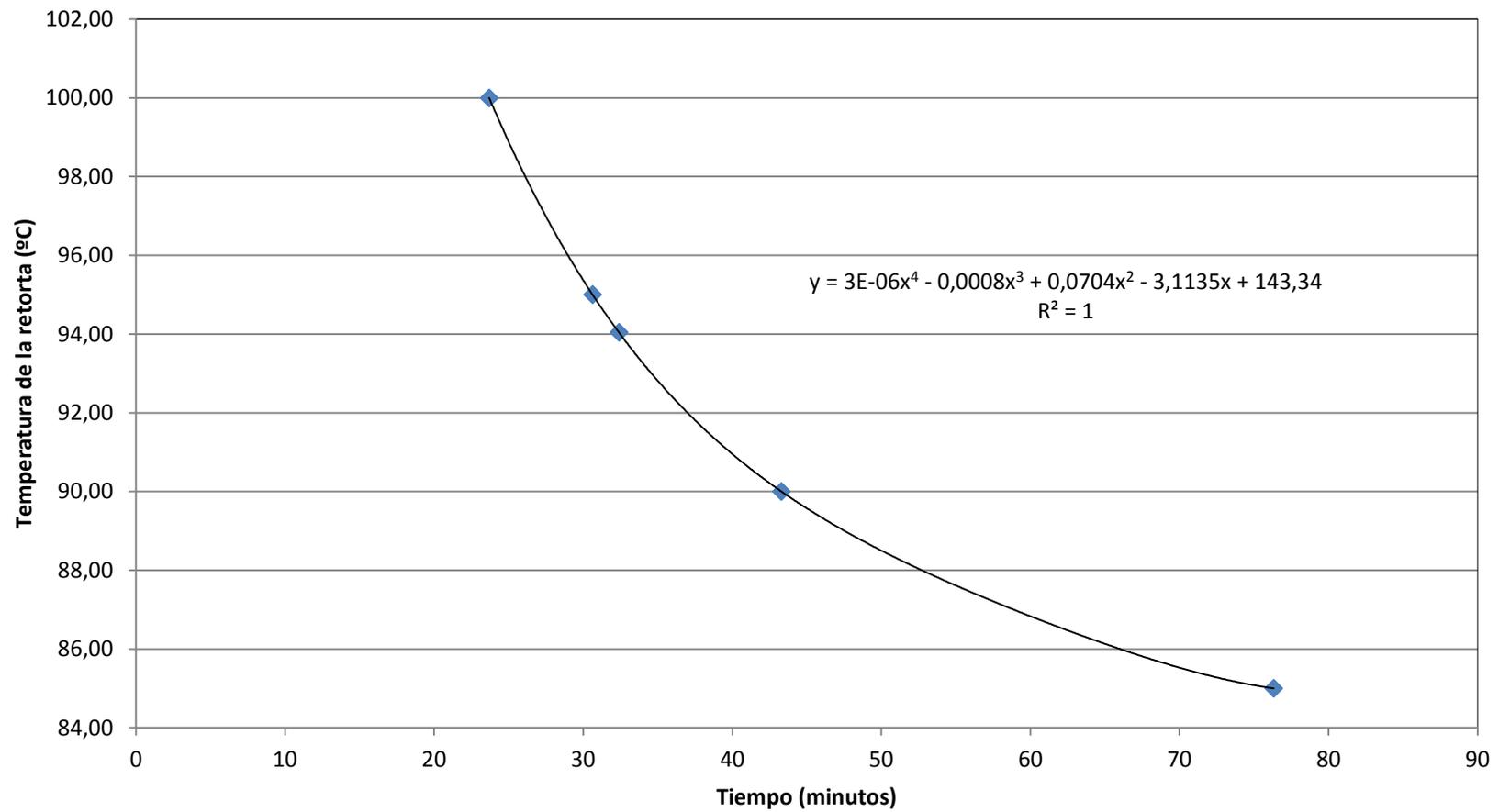


Figura 28: Curva de letalidad equivalente para *Byssochlamys fulva* en el puré de tumbo serrano.

4.3. DETERMINACIÓN DE LOS FACTORES ($p < 0.05$) QUE INFLUYEN EN LA RETENCIÓN DEL ÁCIDO ASCÓRBICO

Se determinó cuáles son los factores (variables independientes del proceso) que influyen significativamente en la retención del ácido ascórbico.

Utilizando el diagrama de flujo para la elaboración del puré de tumbo serrano (Figura 17) se procedió a la aplicación del método Taguchi, considerando los siguientes factores: Dilución (pulpa: agua), % azúcar, % almidón, pH y la temperatura del tratamiento térmico.

Los niveles para cada factor que se muestran en el Tabla 18, fueron hallados por pruebas experimentales previas.

Para la Dilución se consideró desde 1:2 a 1:4. Se usaron ambas diluciones para poder apreciar la diferencia entre ambas, y a la vez disminuir su acidez.

Los niveles de azúcar (%) fueron desde 14,5 a 16,5 %, el cual se añadió con el fin de mejorar su sabor y enmascarar la acidez propia del fruto.

Respecto al porcentaje de almidón se usó en un rango de 4 a 4.5% para conferirle una textura más adecuada, correspondiente a un puré de fruta.

Se ensayaron dos niveles de pH, los que estuvieron entre 2,8 y 3,5. Esto tuvo la función de asegurar un pH adecuado para controlar el crecimiento de bacterias, y a su vez también ver la estabilidad que podrían tener tanto el ácido ascórbico.

El tratamiento térmico usado fue el de pasteurización, por lo cual se usaron temperaturas menores a 100°C, siendo las siguientes: 85 y 95°C con sus respectivos tiempos de procesamiento hallados.

4.3.1. Ácido ascórbico

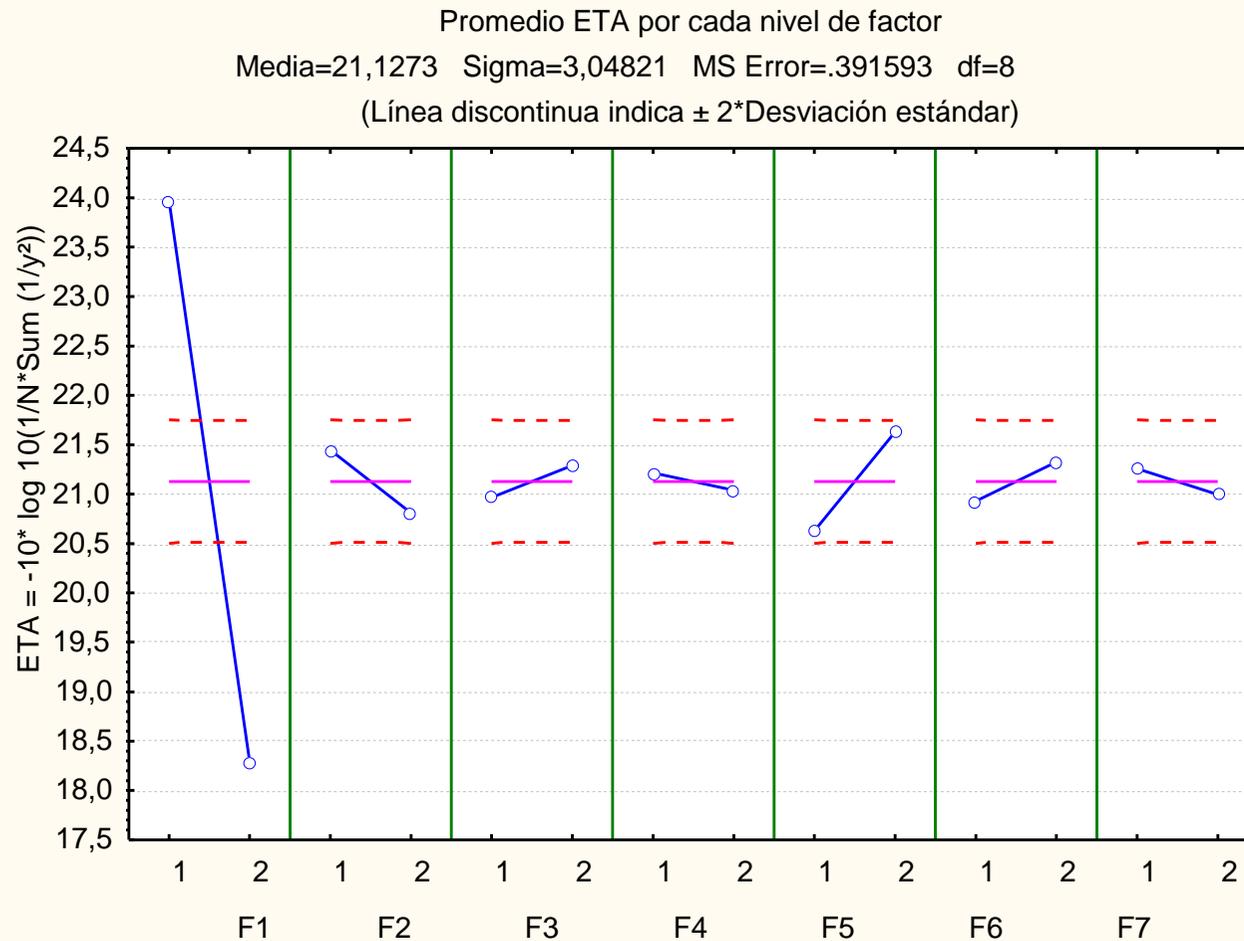
Los factores que influyeron significativamente en la retención del ácido ascórbico en el puré de tumbo serrano, fueron determinados usando el criterio “mayor es mejor” (a mayor cantidad de ácido ascórbico el producto final es mejor) del método Taguchi. El análisis de los resultados obtenidos de la aplicación de dicho método puede ser interpretado a partir de la Figura 29 y Tabla 19, 20 y 21 de la siguiente manera:

- El factor de la Dilución: Pulpa: Agua tuvo uno de los dos valores más altos valores de ETA significativos, correspondiendo al menor valor ETA al menor Dilución (1 pulpa: 2 agua), por lo que se eligió este nivel como variable para la maximización posterior.
- El factor del porcentaje de azúcar no resulto significativo, correspondiente un mayor valor de ETA al nivel menor de (14,5 %), siendo seleccionado tal nivel para la maximización posterior como factor constante.
- El factor del porcentaje de almidón no resultó significativo, correspondiente un mayor valor de ETA al nivel mayor de (4,5%), siendo seleccionado tal nivel para la maximización posterior como constante.
- El factor del pH del puré no resulto significativo, correspondiendo un mayor valor de ETA al nivel menor de (2,8), eligiendo este nivel para la maximización posterior como constante.
- El factor de la temperatura del tratamiento térmico tuvo un valor de ETA significativo, correspondiendo el mayor valor al nivel mayor (95°C), siendo por ello elegido como variable para la maximización posterior.

Tabla 18: Tratamientos según diseño experimental Taguchi L₈ (2⁷) y sus resultados de concentración de ácido ascórbico.

FACTORES DE CONTROL								Ácido Ascórbico (mg/100g)	
Tratamiento	Dilución (pulpa:agua)	% azúcar	% almidón	pH del puré	Temp Tratamiento térmico	F1xF5 Iteracción	F2xF5 Iteracción	R1	R2
1	1:2	14,5	4	2,8	85	-	-	15,42	15,01
2	1:2	14,5	4	3,5	95	-	-	18,01	16,03
3	1:2	16,5	4,5	2,8	85	-	-	15,11	14,70
4	1:2	16,5	4,5	3,5	95	-	-	16,05	16,23
5	1:4	14,5	4,5	2,8	95	-	-	9,21	8,68
6	1:4	14,5	4,5	3,5	85	-	-	8,80	8,06
7	1:4	16,5	4	2,8	95	-	-	8,49	8,78
8	1:4	16,5	4	3,5	85	-	-	6,21	7,86

R1 y R2: Ensayos para La determinación ácido ascórbico (mg/100g).



- Donde:
- F1: Dilución (pulpa : agua)
 - F2: % azúcar
 - F3: % almidón
 - F4: pH del puré
 - F5: Temperatura del tratamiento térmico
 - F6: Interacción Dilución – Temperatura del Tratamiento térmico
 - F7: Interacción % azúcar – Temperatura del tratamiento térmico

Figura 29: Valores Señal/Ruido (ETA) de cada factor evaluado en la retención de ácido ascórbico, aplicando Taguchi L₈ (2⁷).

Tabla 19: Análisis de varianza del diseño experimental Taguchi L₈ (2⁷).

Análisis de Varianza					
Media = 21,1273 Sigma = 3,04821					
	SS	df	MS	F	P
F1	129,1376	1	129,1376	329,7752	0,000000
F2	1,6284	1	1,6284	4,1584	0,075766
F3	0,4234	1	0,4234	1,0813	0,328808
F4	0,1248	1	0,1248	0,3187	0,587857
F5	4,0209	1	4,0209	10,2681	0,012530
F6	0,6296	1	0,6296	1,6078	0,240453
F7	0,2764	1	0,2764	0,7059	0,425189
Residual	3,1327	8	0,3916		

Tabla 20: Valores promedios (ETA) para cada factor y nivel del diseño experimental Taguchi L₈ (2⁷).

Medias de ETA por Niveles de Factores (puré de tumbo serrano)					
Media = 21,1273 Sigma = 3,04821					
	Nivel	Medias	Parámetro Estimado	Desviación Estándar	Error Estándar
F1	1	23,96822	2,84097	0,515724	0,253901
	2	18,28628	-2,84097	0,958104	0,346068
F2	1	21,44627	0,31902	3,124555	0,624956
	2	20,80823	-0,31902	3,559862	0,667070
F3	1	20,96457	-0,16268	3,745821	0,684272
	2	21,28993	0,16268	2,933448	0,605542
F4	1	21,21557	0,08832	2,705441	0,581533
	2	21,03893	-0,08832	3,920032	0,700003
F5	1	20,62595	-0,50130	3,447512	0,656459
	2	21,62856	0,50130	3,186122	0,631083
F6	1	20,92888	-0,19837	3,548153	0,665972
	2	21,32562	0,19837	3,164260	0,628914
F7	1	21,25870	0,13145	3,059864	0,618452
	2	20,99581	-0,13145	3,646645	0,675152

Tabla 21: Efectos obtenidos por los factores y sus niveles según el diseño experimental Taguchi L₈ (2⁷).

Relación Esperada de S/N Bajo Condiciones Óptimas			
Media = 21,1273 Sigma= 3,04821			
Factores	Nivel	Efecto Tamaño	Error Estándar
F1: Dilución (pulpa: agua)	1	2,84097	0,312887
F2: % de azúcar	1	0,31902	0,312887
F3: % de almidón	2	0,16268	0,312887
F4: pH del puré	1	0,08832	0,312887
F5: Temperatura del tratamiento térmico	2	0,50130	0,312887
F6: Interacción de la Dilución - Temperatura del Tratamiento térmico	2	0,19837	0,312887
F7: Interacción del % de azúcar - Temperatura del Tratamiento térmico	1	0,13145	0,312887
Esperado S/N (Señal/Ruido)		25,36936	

Tabla 22: Niveles con los que se obtiene la mayor retención de ácido ascórbico en el puré de tumbo serrano según el método Taguchi.

Factores	Parámetros	Nivel Seleccionado
F1: Dilución (pulpa: agua)	1:2	1
F2: % de azúcar	14,5	1
F3: % de almidón	4,5	2
F4: pH del puré	2,8	1
F5: Temperatura del tratamiento térmico	95	2
F6: Interacción Dilución - Temperatura del Tratamiento térmico.	-	-
F7: Interacción % azúcar - Temperatura del Tratamiento térmico.	-	-

Tabla 23: Niveles de factores a variar para la maximización de la retención de ácido ascórbico en el puré de tumbo serrano.

Factores	Niveles		
	-1	0	1
Dilución (pulpa: agua)	1:1	1:2	1:3
Temperatura del tratamiento térmico (°C)	90	95	100

Encina *et al.* (2007) usaron el método Taguchi con un arreglo ortogonal $L_8(2^7)$ utilizando factores como: pH del almíbar (2,5 y 3,5), tiempo de descerado (30 y 90 s), temperatura del descerado (80 y 100°C), °Brix del almíbar (15 y 30°Bx), Concentración de NaOH (0,05 y 0,2%), temperatura del tratamiento térmico (85 y 95°C), interacción pH-tratamiento térmico, resultando 8 combinaciones, encontró como factores significativos: pH del almíbar (2,5) y la temperatura del tratamiento térmico (95°C) en la retención del ácido ascórbico de la conserva de aguaymanto.

Encina y Carpio (2011) maximizaron el contenido de ácido ascórbico en un néctar de tumbo, utilizaron el método Taguchi con un arreglo ortogonal de $L_9(3^2)$, con 4 factores y 3 niveles, tales como: pH del néctar (2,8, 3 y 3,2), °Brix del néctar (12, 13,5 y 15), dilución pulpa: agua (1:2,0, 1:3,25, 1:4,5), resultando 9 combinaciones, encontraron como factores significativos a un pH: 2,8 y una dilución pulpa: agua de 1:2.

Tabla 24: Arreglo factorial 3²x2, empleando para el método de Superficie de Respuesta.

Bloques	Dilución (pulpa: agua)	Temperatura del tratamiento térmico (°C)
1	1	90
1	2	90
1	3	90
1	1	95
1	2	95
1	3	95
1	1	100
1	2	100
1	3	100
2	1	90
2	2	90
2	3	90
2	1	95
2	2	95
2	3	95
2	1	100
2	2	100
2	3	100

4.4. MAXIMIZACIÓN DE LA RETENCIÓN DEL ÁCIDO ASCÓRBICO DURANTE LA ELABORACIÓN DEL PURÉ DE TUMBO SERRANO

Se maximizó la variable respuesta, mediante el empleo del método de Superficie de Respuesta, para lo cual se consideraron los factores dilución (pulpa: agua) y temperatura del tratamiento térmico, los cuales resultaron significativos en la etapa anterior.

En la Figura 30 se muestra el Diagrama de Pareto para los diferentes efectos, y en la Tabla 24 se presenta los niveles ensayados para la maximización.

En la Tabla 25 se muestran las formulaciones completas para la elaboración del puré de tumbo serrano a las cuales se les determinó ácido ascórbico después del procesamiento.

Después de realizados los tratamientos de acuerdo al flujo de procesamiento y según las variables presentadas en la Tabla 26, se evaluó el contenido de ácido ascórbico obtenido en cada uno.

En las Figuras 31 y 32, se presenta la superficie de respuesta y la gráfica de contornos para cada nivel respectivo, en la Tabla 27 el análisis de varianza ($p < 0,05$) y el valor óptimo de la Superficie de Respuesta se muestra en la Tabla 28.

De acuerdo al análisis de varianza mostrado en la Tabla 27, se deduce que el factor Dilución (pulpa: agua) (factor A) resultó ser altamente significativo y para la temperatura del tratamiento térmico (factor B) resultó significativo.

Los niveles para ambos factores: Dilución (pulpa: agua) y temperatura del tratamiento térmico se muestran en la Tabla 29. En la Tabla 30 se muestran los parámetros que maximizan la retención de ácido ascórbico en la elaboración del puré de tumbo serrano aplicando el método de Superficie de Respuesta.

Tabla 25: Tratamientos aplicados para la maximización de la retención del ácido ascórbico.

Repetición	Tratamientos	Dilución (pulpa: agua)	% de Azúcar	% de Almidón	pH del puré	Temperatura del tratamiento térmico (°C)	Tiempo de Proceso (min)
1	1	1	14,5	4,5	2,8	90	43,30
1	2	2	14,5	4,5	2,8	90	43,30
1	3	3	14,5	4,5	2,8	90	43,30
1	4	1	14,5	4,5	2,8	95	30,63
1	5	2	14,5	4,5	2,8	95	30,63
1	6	3	14,5	4,5	2,8	95	30,63
1	7	1	14,5	4,5	2,8	100	23,69
1	8	2	14,5	4,5	2,8	100	23,69
1	9	3	14,5	4,5	2,8	100	23,69
2	1	1	14,5	4,5	2,8	90	43,30
2	2	2	14,5	4,5	2,8	90	43,30
2	3	3	14,5	4,5	2,8	90	43,30
2	4	1	14,5	4,5	2,8	95	30,63
2	5	2	14,5	4,5	2,8	95	30,63
2	6	3	14,5	4,5	2,8	95	30,63
2	7	1	14,5	4,5	2,8	100	23,69
2	8	2	14,5	4,5	2,8	100	23,69
2	9	3	14,5	4,5	2,8	100	23,69

Tabla 26: Resultados del análisis de determinación de ácido ascórbico para los diferentes tratamientos.

Tratamientos	Ácido Ascórbico (mg/100g)	% Retención (*)
1	25,76 ± 0,70	88,84
2	15,62 ± 0,70	53,86
3	12,21 ± 0,51	42,11
4	28,19 ± 0,70	97,24
5	16,02 ± 0,70	55,26
6	12,37 ± 0,70	42,67
7	24,54 ± 0,70	84,64
8	15,62 ± 0,70	53,86
9	10,10 ± 0,42	34,84
10	24,70 ± 0,42	85,20
11	16,43 ± 0,00	56,66
12	11,40 ± 0,28	39,31
13	25,76 ± 0,70	88,84
14	15,78 ± 0,98	54,42
15	11,40 ± 0,28	39,31
16	24,13 ± 0,37	83,25
17	14,40 ± 0,70	49,67
18	10,75 ± 0,70	37,08

Nota:

(*) El % de retención resulta de la relación de la cantidad de Ácido ascórbico en el puré de tumbo serrano con respecto a la cantidad de Ácido ascórbico del estandarizado, expresado en porcentaje.

Diagrama de Pareto Estandarizada para Ácido ascórbico

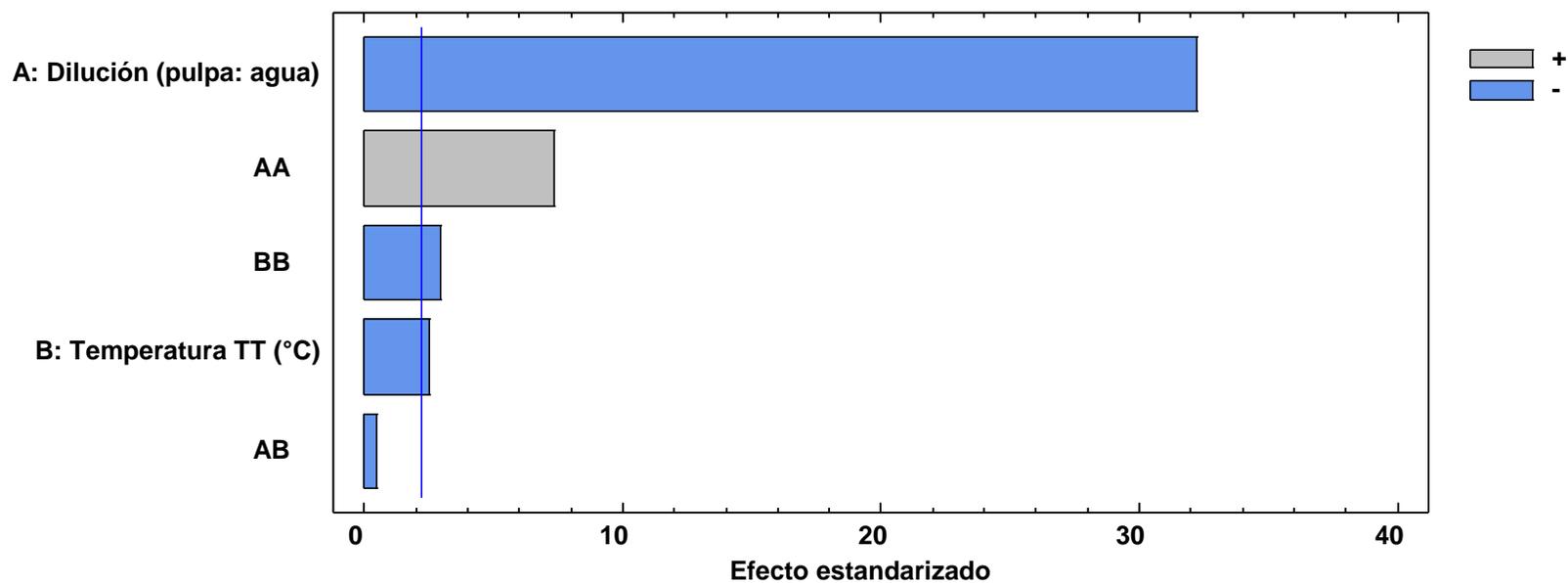
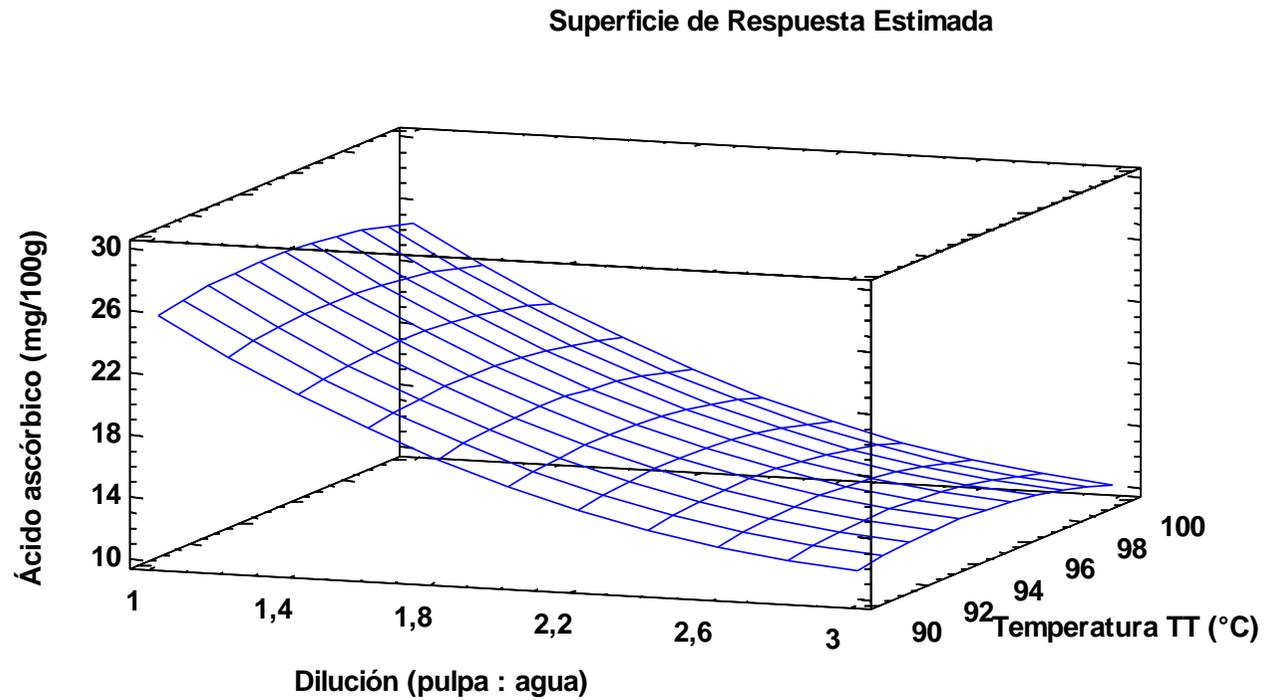


Figura 30: Diagrama de Pareto estandarizada para la retención del ácido ascórbico (mg/100g).



$$\text{Ácido ascórbico (mg/100g)} = -355,167 - 15,954 \cdot \text{Dilución} + 8,41643 \cdot \text{Temperatura} + 2,79872 \cdot \text{Dilución}^2 - 0,0243367 \cdot \text{Dilución} \cdot \text{Temperatura} - 0,0446172 \cdot \text{Temperatura}^2$$

Figura 31: Superficie de Respuesta para la mayor retención de ácido ascórbico (mg/100g).

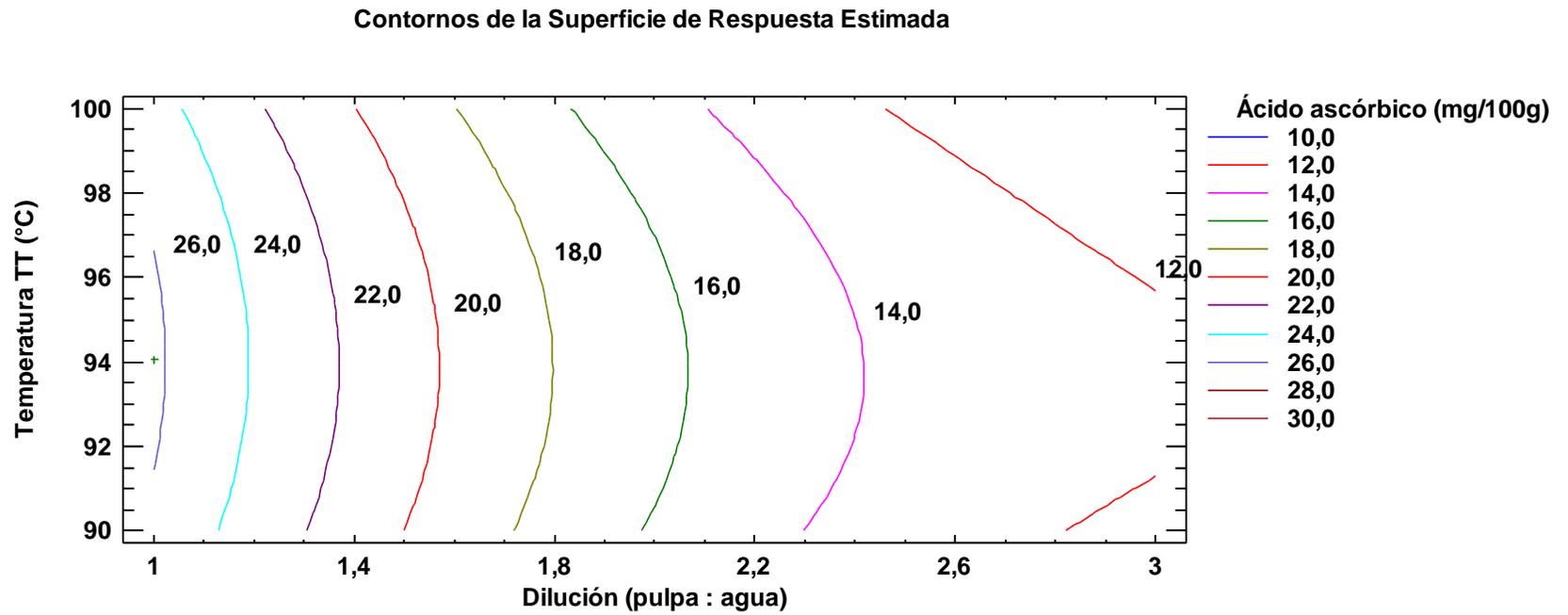


Figura 32: Gráfica de contornos de la Superficie de Respuesta para la mayor retención de ácido ascórbico (mg/100g).

Tabla 27: Análisis de varianza de la optimización de la mayor retención de ácido ascórbico mediante el método Superficie de Respuesta.

Análisis de varianza para el Ácido ascórbico					
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Dilución (pulpa : agua)	600,015	1	600,015	1040,99	0,0000
B:Temperatura TT (°C)	3,59806	1	3,59806	6,24	0,0296
AA	31,3313	1	31,3313	54,36	0,0000
AB	0,118455	1	0,118455	0,21	0,6591
BB	4,97674	1	4,97674	8,63	0,0135
bloques	1,79145	1	1,79145	3,11	0,1056
Error total	6,34025	11	0,576387		
Total (corr.)	648,171	17			

Tabla 28: Optimización de la variable respuesta para la mayor retención de ácido ascórbico.

Respuesta Óptima			
Meta: Maximizar Ácido ascórbico			
Valor óptimo = 26,2972			
Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Dilución (pulpa: agua)	1,0	3,0	1,0
Temperatura TT (°C)	90,0	100,0	94,0478

Tabla 29: Niveles óptimos obtenidos mediante el método Superficie de Respuesta.

Factor	Parámetro óptimo
Dilución (pulpa: agua)	1,0
Temperatura TT (°C)	94,0478

Tabla 30: Tratamientos que maximizan la retención de ácido ascórbico en la elaboración de puré de tumbo serrano aplicando el método Superficie de Respuesta.

Factores	Parámetro
Dilución (pulpa: agua)	1
% de azúcar	14,5
% de almidón	4,5
pH del puré	2,8
Temperatura TT (°C)	94,04
Tiempo del Tratamiento térmico (min)	32,40

La formulación que se obtuvo de acuerdo a la tabla 30 fue la siguiente: Dilución (40.5% de pulpa: 40.5% de agua), 14,5% de azúcar, 4,5% de almidón, pH de 2,8 y con tratamiento térmico a 94,04°C por 32,40 min.

Encina y Carpio (2011) maximizaron el contenido de ácido ascórbico en un néctar de tumbo, usaron el método de Superficie de Respuesta con un arreglo factorial de 3², siendo los factores: pH de néctar (2,5, 2,8 y 3,1) y dilución pulpa: agua (1:1, 1:2 y 1:3). El resultado obtenido de la maximización fue de pH (2,9) y dilución pulpa: agua (1:1), obteniendo 38,20 mg ácido ascórbico/100ml (bh) de néctar de tumbo.

Rojas *et al.* (2017) mencionan que los factores que proporcionan un mayor contenido de ácido ascórbico en el néctar de tomate de árbol son la dilución de 1:2.5 y una temperatura de tratamiento térmico de 99.5 °C por 1 min, obteniendo 11.45 mg ácido ascórbico/100g (bh).

4.5. CARACTERIZACIÓN DEL PRODUCTO FINAL

Para validar los resultados obtenidos, que maximizan la retención del ácido ascórbico con el método de Superficie de Respuesta, se utilizó los parámetros mostrados en la Tabla 30.

4.5.1. Análisis proximal

El análisis proximal realizado para el producto final se puede apreciar en la Tabla 31.

Tabla 31: Análisis proximal del puré de tumbo serrano *Passiflora mollisima*.

CONSTITUYENTE	bh	bs
Humedad (g/100g)	79,3	
Cenizas Totales (g/100g)	0,27	1,30
Grasa Cruda (g/100g)	0,09	0,43
Proteína Cruda (g/100g)	0,35	1,69
Fibra Cruda (g/100g)	0,06	0,29
Carbohidratos (g/100g)	19,99	96,57
Energía Total (kcal/100g)	82,17	396,96

El contenido de humedad del puré de tumbo serrano fue del 79,3 % (g/100g), este valor es menor al reportado para la materia prima (pulpa de tumbo serrano), esto podría deberse por la adición de insumos como azúcar y almidón.

El contenido de cenizas totales disminuyó a 0,27 g/100g (bh), disminuyó con respecto a la materia prima.

El contenido de grasa cruda y el contenido proteínas fue de 0,09 g/100g (bh) y de 0.35 g/100g (bh) respectivamente, ambos valores disminuyeron con respecto a la materia prima.

El contenido de fibra cruda fue de 0,06 g/100g (bh), el cual se vio disminuido en comparación a la materia prima.

Estos valores se vieron disminuidos a causa del efecto de la dilución de la materia prima, durante la elaboración de puré de tumbo serrano.

Hubo un incremento en el contenido de carbohidratos a 19,99 g/100g (bh), esto se debió a la adición de azúcar y almidón.

Hubo un aumento en la Energía total a 82,17 kcal/100g, debido a la adición de azúcar y almidón.

4.5.2. Análisis fisicoquímico

El análisis fisicoquímico para el producto final es mostrado en la Tabla 32.

Tabla 32: Análisis fisicoquímico del puré de tumbo serrano *Passiflora mollisima*.

CONSTITUYENTE	VALOR
Acidez total (g ácido cítrico/100ml)	2,07
pH	2,8
Sólidos solubles (°Brix)	23,5
Azúcares Reductores (g/100g)	6,98
Análisis Colorímetro	L* 31,58 ± 0,07
	a* 1,92 ± 0,02
	b* 16,35 ± 0,15
Actividad de agua (a _w)	0,985 ± 0,001

La acidez total disminuyó a 2,07g ac cítrico/100 ml, probablemente debido a la dilución y degradación del proceso de elaboración del puré.

El pH del producto tuvo una disminución con respecto a la pulpa de 2,8 debido a que se agregó ácido cítrico durante el estandarizado.

El contenido de sólidos solubles se incrementó a 23,5 °Brix, por la adición de insumos (azúcar y almidón).

Los azúcares reductores fueron incrementados a 6,98 g/100g, debido a que se agregó azúcar (sacarosa), el cual fue hidrolizado durante el proceso de pasteurización, dado lugar a la formación de azúcares reductores como la glucosa y fructosa.

El modelo cromático es el sistema L* a* b* (CIELAB), medidos en el puré de tumbo serrano, disminuyó tal vez durante el proceso de pasteurización, que favorece a la oxidación que sufren los carotenos durante el tratamiento térmico L* $31,58 \pm 0,07$, a* $1,92 \pm 0,02$ y b* $16,35 \pm 0,15$.

La actividad de agua se redujo a $0,985 \pm 0,001$ a 25°C, tal vez por la adición de almidón y azúcar.

4.5.3. Compuestos bioactivos y capacidad antioxidante

Los resultados del análisis para la determinación de los compuestos bioactivos y capacidad antioxidante realizada al producto final son mostrados en la Tabla 33. Así mismo la variación de los compuestos bioactivos y capacidad antioxidante del estandarizado y el producto final a base de tumbo serrano y el porcentaje de retención de los compuestos bioactivos y capacidad antioxidante del producto final con respecto al estandarizado, se muestran en la Tabla 34. Debido a que durante el estandarizado se diluye la pulpa con agua y se añade, azúcar, almidón, ácido cítrico, además sólo se usa el 40.5% de pulpa. Estos compuestos sufren reducción en su composición, debido al proceso tecnológico que fue sometido.

a. Ácido ascórbico

El análisis se realizó el mismo día de haber producido el puré, debido a que el ácido ascórbico tiende a degradarse con mucha facilidad por la acción de la luz y el calor.

Se obtuvo un valor de $24,40 \pm 0,47$ mg ácido ascórbico /100g (bh) para el puré de tumbo serrano, valor menor al obtenido por Encina y Carpio (2011) para el néctar

de tumbo serrano que fue de $38,20 \pm 2,56$ mg ácido ascórbico /100g (bh). Bineesh *et al.* (2005), indica que la vitamina C es altamente sensible a los factores de procesamiento, como la temperatura, concentraciones de sal y azúcar, pH, oxígeno, enzimas y metales catalíticos pueden influenciar en su degradación.

Se obtuvo una retención del 49,21 % (bs) a lo largo del proceso de elaboración del puré de tumbo serrano. Poiana *et al.* (2011) obtuvieron una retención de vitamina C del 22%, 46% y 30% respectivamente para el proceso de elaboración de mermelada de fresa, cereza y guinda a partir de frutas congeladas, mencionan que el tratamiento térmico produce pérdidas en vitamina C. Las pérdidas por encima de 50% son típicas para vegetales, pero son mucho menores para las frutas y en particular frutas ácidas porque el pH bajo tiene un efecto estabilizador (Davey *et al.* 2000).

Tabla 33: Compuestos bioactivos y capacidad antioxidante en el puré de tumbo serrano *Passiflora mollisima*.

CONSTITUYENTE		bh	bs
Ácido ascórbico (mg/100g)		$24,40 \pm 0,47$	$118,68 \pm 1,03$
Carotenos totales (mg de β -caroteno/100g)		$0,87 \pm 0,06$	$4,21 \pm 0,27$
Compuestos fenólicos (mg ácido gálico/100g)		$29,46 \pm 0,66$	$142,34 \pm 3,17$
Capacidad antioxidante (μ mol eq trolox/g)	Hidrofílica	$9,28 \pm 0,18$	$44,83 \pm 0,86$
	Lipofílica	$0,04 \pm 0,00$	$0,18 \pm 0,00$

Tabla 34: Variación de los compuestos bioactivos y capacidad antioxidante del puré de tumbo serrano *Passiflora mollisima* con respecto al estandarizado.

CONSTITUYENTE (bs)		Producto estandarizado (bs)	Producto final (bs)	% Retención
Ácido ascórbico (mg/100g)		241,17 ± 13,13	118,68 ± 1,03	49,21
Carotenos totales (mg de β-caroteno/100g)		9,33 ± 0,17	4,21 ± 0,27	45,12
Compuestos fenólicos (mg ácido gálico/100g)		277,14 ± 7,76	142,34 ± 3,17	51,36
Capacidad antioxidante (μmol eq trolox/g)	Hidrofílica	80,76 ± 0,86	44,83 ± 0,86	55,51
	Lipofílica	0,36 ± 0,02	0,18 ± 0,00	50,00

Donde:

Estandarizado: 40,5% de pulpa de tumbo serrano.

Producto final: puré de tumbo serrano.

a. Carotenos totales

Se reportó un valor de $0,87 \pm 0,06$ mg β-caroteno/100g (bh), valor menor al obtenido por Encina y Carpio (2011) el cual fue de $1,33 \pm 0,03$ mg β-caroteno/100g (bh) para el néctar de tumbo serrano.

Se logró obtener una retención del 45,12 % (bs) para el proceso de elaboración del puré de tumbo serrano, esta reducción podría deberse, a la oxidación que sufren los carotenos durante el proceso de elaboración: como son la exposición a la luz, oxígeno y a la temperatura expuesta para la obtención del puré. Nicoli *et al.* (1999) menciona que la isomerización del β-caroteno, tiene como consecuencia una pérdida de vitamina A, a causa de factores mencionados anteriormente.

Godoy y Rodríguez - Amaya (1987), citado por Rodríguez - Amaya (1999), mencionan que el puré de mango calentado a 80°C por 10 minutos para luego ser envasado en caliente, sellado en latas y sumergidas en agua hirviendo por 20 minutos, tuvo una retención del 87% de β -caroteno.

Para el procesamiento térmico de la zanahoria (condiciones de autoclavado de 115,6°C por 30 minutos) aumentó sustancialmente las concentraciones de los isómeros *cis* del α -y β -caroteno mientras que los isómeros *trans* disminuyeron en un 26 y 35% respectivamente, obteniendo una retención de 65% de β -caroteno (Ogunlesi y Lee 1979; citado por Rodríguez-Amaya 1999).

Gayathri *et al.* (2004), obtiene para la zanahoria una retención de 73% cuando fue cocinada a presión por 10 min y 84% cuando fue cocinada ebullición por el mismo tiempo.

Rodríguez - Amaya (1999) sostiene que a pesar de la susceptibilidad a la descomposición, se pueden retener los carotenoides durante el procesamiento industrial si se sigue buenas prácticas tecnológicas.

a) Compuestos fenólicos

Los compuestos fenólicos en el puré de tumbo serrano fueron de $29,46 \pm 0,66$ mg AGE/100g (bh), el cual es un valor menor al encontrado por Encina y Carpio (2011) el cual fue de $122,24 \pm 2,02$ mg ácido clorogénico/100g (bh) para el néctar de tumbo serrano.

Por otro lado, Oliveira *et al.* (2011) reportaron un contenido máximo de $22,98 \pm 0,96$ mgAGE/100g (bh) para la elaboración de puré de acerola, siendo un valor menor al encontrado en la investigación.

El puré de tumbo serrano tuvo una retención del 51,36 % (bs) para los compuestos fenólicos durante el proceso de elaboración. Esta disminución es debido al

procesamiento que promueve la oxidación enzimática o química de compuestos fenólicos, estas reacciones dependen de las propiedades intrínsecas del alimento y de las condiciones de procesamiento (a_w , pH, tiempo, temperatura, disponibilidad de oxígeno, etc). Otros factores como la luz y el calor también tienen un efecto adverso en polifenoles (Nicoli *et al.* 1999).

Poiana *et al.* (2011), mencionan que debido al proceso térmico en la elaboración de mermelada de fresa, cereza y guinda a partir de frutas congeladas, los polifenoles totales son alterados y tuvieron una retención del 58, 69, y 75% en el producto final.

Farcas *et al.* (2012), comparan ciruela fresca y compota de ciruela, obteniendo los siguientes resultados: $503,4 \pm 3,04$ a $266,7 \pm 6,08$ mg AGE/100g (bh), lo cual resulta en una disminución del 53% de los polifenoles con respecto a la fruta fresca.

b) Capacidad Antioxidante

La capacidad antioxidante que se reportó para la fracción hidrofílica fue de $9,28 \pm 0,18$ $\mu\text{mol eq trolox /g}$ (bh), siendo un valor menor al reportado por Encina y Carpio (2011) que fue de $87,48$ $\mu\text{mol eq trolox /g}$ (bh) para el néctar de tumbo serrano. Por otro lado Oliveira *et al.* (2011) reportan un valor de $122,77$ $\mu\text{mol eq trolox/g}$ (bh) para el puré de acerola, siendo éste un valor mayor al obtenido en el puré de tumbo serrano.

Para la fracción lipofílica se obtuvo un valor de $0,04 \pm 0,00$ $\mu\text{mol eq trolox /g}$ (bh),

Para la fracción hidrofílica se reportó una retención del 55,51 % (bs) y para la fracción lipofílica una retención del 50 % (bs) para el proceso de elaboración de puré de tumbo serrano. Una causa que promueve la reducción de la capacidad antioxidante en frutas y vegetales tratados térmicamente, está representada por el consumo de ácido ascórbico y polifenoles como reactantes en la reacción de

Maillard (Nicoli *et al.* 1999). Poiana *et al.* (2011), mencionan que debido al proceso térmico en la elaboración de mermelada de fresa, cereza y guinda a partir de frutas congeladas, capacidad antioxidante fueron alterados debido al proceso térmico y tuvieron una retención del 59, 66, y 69% respectivamente en el producto final, los cuales fueron determinados mediante el método FRAP.

4.5.4. Características físicas

En el Tabla 35 se muestran los resultados del análisis de las propiedades físicas del puré de tumbo serrano. Con respecto al peso bruto, neto, estos factores van a estar en función del tamaño y forma del envase.

El espacio cabeza promedio fue de $6,27 \pm 0,15$ mm el cual permite una expansión adecuada del producto durante el tratamiento térmico. Además esto garantiza un sellado hermético. Larousse y Brown (1997) mencionan que un adecuado espacio de cabeza es un factor crítico, en el objetivo de un vacío requerido para un envase cerrado. En el caso particular donde la temperatura de llenado es menor igual a 85°C el espacio de cabeza debe ser al menos el 5% del volumen total del envase de vidrio.

La presión de vacío del puré de tumbo serrano fue de $12,20 \pm 0,39$ inHg, lo cual se encuentra dentro del rango de 10 - 15, como lo sugiere la NTP 203.013 (1981).

Tabla 35: Características físicas del puré de tumbo serrano.

Característica	Valor promedio
Peso bruto (g)	$276,03 \pm 0,79$
Peso neto (g)	$161,78 \pm 0,58$
Peso del envase (g)	$114,25 \pm 0,52$
Presión del vacío (inHg)	$12,20 \pm 0,39$
Espacio de cabeza (mm)	$6,27 \pm 0,15$
Viscosidad (cp) 25°C y 30 rpm	5273,49

4.5.5. Análisis microbiológico

El análisis de recuento de microorganismos para mesófilos aerobios viables y hongos totales, no fueron detectados en el producto final. En ambos casos se reportaron valores menores a 10 ufc/g, lo cual es un indicador de esterilidad para el puré de tumbo serrano (Mossel *et al.* 2002).

Los resultados del análisis microbiológico son mostrados en la Tabla 36.

Tabla 36: Análisis microbiológico del puré de tumbo serrano.

Microorganismo	Ufc/g
Mesófilos aerobios viables	< 10
Hongos totales	< 10

V. CONCLUSIONES

1. El análisis de los compuestos bioactivos de la pulpa de tumbo serrano fue de $75,34 \pm 0,61$ mg de ácido ascórbico / 100g (bh); carotenos totales fue de $2,91 \pm 0,07$ mg β -caroteno/100g (bh); compuestos fenólicos fue de $100,15 \pm 2,14$ mg AGE/100g (bh), capacidad antioxidante fue de $26,53 \pm 0,29$ μ mol eq trolox/g (fracción hidrofílica) y $0,09 \pm 0,00$ μ mol eq trolox/g (fracción lipofílica), lo que la convierte en una gran fuente de compuestos bioactivos.
2. Aplicando el método Taguchi los factores que tuvieron efecto significativo sobre la retención de ácido ascórbico fueron la dilución pulpa: agua (1:2) y la temperatura del tratamiento térmico (95°C).
3. La máxima retención de ácido ascórbico fue de 26,30 mg/100 g (bh), empleando la metodología Superficie de Respuesta, lo cual se logró a 1:1 de dilución (pulpa: agua) y 94,04 °C de temperatura del tratamiento térmico, empleando un tiempo de 32,40 minutos.
4. Se obtuvo los parámetros para la elaboración de puré de tumbo y fueron: dilución (pulpa: agua) 1:1, % de azúcar 14,5%, % de almidón 4,5%, pH del puré 2.8, temperatura del tratamiento térmico 94.04 °C y tiempo del tratamiento térmico de 32,40 min.
5. El análisis de los compuestos bioactivos del puré de tumbo serrano que se obtuvo, con un contenido y % de retención: $24,40 \pm 0,47$ mg de ácido ascórbico/100g (bh) (49,21%), carotenos $0,87 \pm 0,05$ mg β -caroteno/100g (bh) (45,12%), compuestos fenólicos $29,46 \pm 0,66$ mg ácido gálico/100g (bh) (51,36%), capacidad antioxidante hidrofílica $9,28 \pm 0,18$ μ mol eq trolox /g (bh)(55,51%) y capacidad antioxidante lipofílica $0,04 \pm 0,00$ μ mol eq trolox /g (bh) (50%), el producto logró preservar gran parte de los compuestos bioactivos.

VI. RECOMENDACIONES

- Determinar cinéticas de destrucción térmica de la capacidad antioxidante, compuestos fenólicos y otros atributos como textura, color, sabor.
- Evaluar la optimización del tratamiento térmico para compuestos fenólicos, capacidad antioxidante, y para otros atributos como sabor, textura.
- Evaluar la estabilidad del ácido ascórbico en almacenamiento del puré de tumbo serrano.
- Determinar la vida útil del puré de tumbo serrano tomando como referencia la retención de ácido ascórbico.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

AOAC. 2012. Official methods of Analysis, 19TH edition. Association of Oficial Analytical Chemists. Washington DC.

Arnao, M; Cano, A; Acosta, M. 2001. The hidrophilic and lipophilic contribution to total antioxidant activity. Food Chemistry. Department of plant biology. University of Murcia. Murcia, ES. 73: 239-244.

Ball, C; Olson, F. 1957. Sterilization in food technology. McGraw-Hill. New York. 654p.

Badui, S. 2013. Química de los alimentos. 5ta edición. Pearson Educación. México. 723p.

Belitz, H; Grosch, W; Schieberle, P. 2009. Food chemistry. 4th edition. Springer. Berlin - Germany. 1070p.

Bineesh, N; Singhal, R; Aniruddha, P. 2005. A study on degradation kinetics of ascorbic acid in drumstick (*Moringa olifera*) leaves during cooking. Journal of the Science of Food and Agriculture. 85:1953-1958. University of Mumbai. Matunga- India.

Botero, M; Ricaurte, S; Monsalve, C; Rojano, B. 2007. Capacidad reductora de 15 frutas tropicales. *Scientia Et Technica*, abril, año/vol. XIII, número 033. UTP. Pereira- Colombia.

Brack, E. 1999. Diccionario enciclopédico de plantas útiles del Perú. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. 500p.

Burton, G. 1989. Antioxidant action of carotenoids. American Institute of nutrition. Canada. 109-111.

Calzada, J. 1980. 143 Frutales Nativos. UNALM. 314p.

Casp, A; Abril, J. 1999. Procesos de conservación de los alimentos. Segunda edición. Ediciones Multi-Prensa. Madrid-España.

Cheftel, J; Cheftel, H; Besacon, P. 1983. Introducción a la bioquímica y tecnología de los alimentos. Editorial Acribia. España.

Contreras, J; Calderón, L; Guerra, E; García, B. 2011. Antioxidant capacity, phenolic content and vitamin C in pulp, peel and seed from 24 exotic fruits from Colombia. Food research international 44. 2047 – 2053.

Damodaran, S; Parkin, K; Fennema, O. 2010. Fennema Química de los alimentos. Tercera Edición. Editorial Acribia. España. 1166p.

Davies, F; Albrigo, G. 1994. Cítricos. Editorial Acribia. Zaragoza. España. 296p.

Davey, M; Van Mointagu, M; Inzé, D; San Martín, M; Kanellis, A; Smimoff, N; Benzie, I; Strain, J; Favell, d; Fletcher, J. 2000. Review. Plant L-ascorbic acid: chemistry, function, metabolism, bioavailability and effects of processing. Journal of the Science of Food and Agriculture. 80: 825-860.

Encina, C; Ureña, M; Repo, R. 2007. Determinación de los compuestos bioactivos del aguaymanto (*Physalis peruviana*), Linnaeus, 1753 y de su conserva en almíbar maximizando la retención de ácido ascórbico. Anales científicos de la UNALM. 68(3): 75-81.

Encina, C; Carpio, L. 2011 Máxima retención de ácido ascórbico, compuestos bioactivos y capacidad antioxidante en el néctar de tumbo. Lima-Perú. Ingeniería industrial 29. 225-245.

FAO. 2000. Cultivos Andinos Subexplotados y su aporte a la alimentación. Segunda edición.

Farcas, A; Tofana, M; Socaci, S; Salanta, L; Michiu. D; Muresan, A. 2012. Total polyphenols from different fresh and processed fruit and vegetable. Bulletin UASVM Agriculture 69(2). 262-269.

Fernández, J; Hoyos, B. 2011. Optimización a partir del método estadístico Taguchi con ampliación en procesos tecnológicos. 62-81.

Friedman, M; Jürgens, H. 2000. Effect of pH on the stability of plant phenolic compounds. Journal. Agricultural. Food Chemistry. 48: 2101-2110.

Gayathri, G; Platel, K; Prakash, J; Srinivasan, K. 2004. Influence of antioxidant spices on the retention of β -carotene in vegetables during domestic cooking processes. Food chemistry 84:35-43.

Gil, M; Restrepo, A; Millán, L; Alzate, L; Rojano, B. 2014. Microencapsulation of Banana Passion Fruit (*Passiflora tripartita* Var. *Mollissima*): A New Alternative as a Natural Additive as Antioxidant. 671-682.

Goykovic, V. 1993. Parámetros de rendimiento en jugo del fruto de tumbo (*Passiflora mollissima* Bailey) 57-62.

Gutiérrez, H; De La Vara, R. 2012. Análisis y diseño de experimentos. Editorial Mc Graw Hill. Tercera edición. México.

Hernández, A, Bernal, R. 2000. Lista de especies de Passifloraceae de Colombia, Biota colombiana 1(3): 320-325. Colombia.

Herson, A; Hulland, E. 1995. Conservas alimenticias. Editorial Acribia. España. 460p.

Hurtado, P. 1987. Procesos Tecnológicos de conservación de frutas y hortalizas y su almacenamiento. Junta de Cartagena.

ICMSF (International Commission on Microbiological Specifications for Foods). 2000. Microbiología de los alimentos. Volumen I. 2da Edición. Editorial Acribia. S.A. Zaragoza, España.

Jay, J; Loessner, M; Golden, D. 2005. Modern Food Microbiology. Seventh edition. Editorial Springer. USA. 782p.

Kuskoski, E; Asuero, A; García, M; Troncoso, A; Fett, R. 2004. Actividad antioxidante de pigmentos antocianicos. *Campinas-Brazil*. 24(4): 691-693.

Kuskoski, E; Asuero, A; Troncoso, A; Mancini, J; Fett, R. 2005. Aplicación de diversos métodos químicos para determinar actividad antioxidante en pulpa de frutos. *Campinas-Brazil*. 25(4): 726-732.

Larousse, J; Brown, B. 1997. *Food Canning Technology*. Editorial Wiley - Vch. Canada. 700p.

Lee, S; Kader, A. 2000. Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest Biology and Technology* 20 (2000): 207-220.

León, J. 1968. *Fundamentos Botánicos de los cultivos tropicales*. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA, San José de Costa Rica.

Madhavi, D. 1996. *Food Antioxidants. Technological, Toxicological, and Health Perspectives* Food Science and Technology. Marcel Dekker. USA.

Mallaupoma, H. 2010. *Elaboración de mermelada a partir de Tumbo serrano (Passiflora tripartita var. mollissima (Kunth) Holm – Niels & P. Jorg)*. Tesis para optar el título de Ing Industrias Alimentarias. UNALM. Lima-Perú.

Marfil. 1991. *Método Taguchi. Una herramienta para el mejoramiento de la calidad*.

Martínez, I; Pelagio, M; Ross, G. 2000. Significado nutricional de los compuestos fenólicos en la dieta 50(1): 5-18.

Meléndez, A; Vicario, I; Heredia, F. 2004. *Estabilidad de los pigmentos carotenoides en los alimentos*. Universidad de Sevilla. Sevilla-España.

Montgomery, D. 2004. *Diseño y análisis de experimentos. Segunda edición*. Limusa -Wiley. México. 686p.

Mossel, D; Moreno, B; Struijk, C. 2002. Microbiología de los alimentos. Editorial Acribia. Zaragoza. España. 724p.

Muñoz, A; Ramos, D; Alvarado, C; Castañeda, B. 2007. Evaluación de la capacidad antioxidante y contenido de compuestos fenólicos en recursos vegetales promisorios. Lima-Perú.

Myers, R; Montgomery, D; Anderson-Cook, C. 2016. Response Surface Methodology. Process and product optimization using disegned experiments. Fourth edition. John Wiley & Sons. New Jersey. 825p.

Nicoli, M; Anese, M; Parpinel, M. 1999. Influence of processing on the antioxidant properties of fruit and vegetables. Trends in Food Science & Technology 10(1999): 94 -100.

NTC 1262: Norma Técnica Colombiana: Curuba.

NTP 203.013. 1981. Arvejas envasadas al natural. Requisitos. Lima – Perú.

Obregón, A. 2001. Efecto de la temperatura sobre la textura de gajos de mandarina satsuma (*Citrus unshiu*) en almíbar. Tesis para optar el título de Magister Scientiae. Lima -Perú.

Oliveira, L; Rufino, M; Moura, C; Cavalcanti, F; Alves, R; Miranda, M. 2011. The influence and processing and long-term storage on the antioxidant metabolism of acerola (*Malpighia emarginata*) purée. Brazilian Society of Plant Physiology 23(2): 151-160.

Pearson, D. 1976. Técnicas de laboratorio para el análisis de alimentos. Editorial Acribia. Zaragoza. España. 331p.

Pitt, J; Hocking, A. 2009. Fungi and Food Spoilage. Editorial Springer. NY. USA.519p.

Poiana, M; Moigradean, D; Dogaru, D; Mateescu, C; Raba, D; Gergen, I. 2011. Processing and storage impact on the antioxidant properties and color quality of some low sugar fruit jams. Romanian Biotechnological Letters. 16(5): 6504-6512.

Ranganna, S. 1977. Manual of analysis of fruit and vegetable products. McGraw-Hill Publishing Company.

Rees, J; Bettison, J. 1994. Procesado térmico y envasado de los alimentos. Editorial Acribia. España. 287p.

Reina, C; Bautista, P; Sánchez, R. 1995. Manejo postcosecha y evaluación de la calidad de la Curuba *Passiflora mollissima* que se comercializa en la ciudad de Neiva.

Reiss, C. 1993. Measuring the amount of ascórbic acid in cabbage. 85-96.

Reyes, M; Gómez, I; Espinoza, C; Bravo, F; Ganoza; L. 2009. Tablas peruanas de composición de alimentos. Ministerio de Salud. Octava edición. Centro Nacional de Alimentación y Nutrición. Instituto Nacional de Salud. 65p.

Rice-Evans, C; Miller, N; Paganga, G. 1996. Structure-antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolics acids. *Free Radical Biology & Medicine*, 20(7). 933-956.

Rice-Evans, C; Miller, N; Paganga, G. 1997. Antioxidant properties of phenolic compounds. Elsevier Science Ltd. 2(4).

Robards, K; Prenzler, P; Tucker, G; Swatsitang, P; Glover, W. 1999. Phenolic compounds and their role in oxidative processes in fruits. *Food chemistry* 66 (1999): 401-436.

Rodríguez, L; López, L; García, M. 2010. Determinación de la composición química y actividad antioxidante en distintos estados de madurez de frutas de consumo habitual en Colombia, mora (*Rubus glucus* B.), maracuyá (*Passiflora edulis* S.), guayaba (*Psidium guajava* L.) y papyuela (*Carica cundinamarcensis* J.).

Rodríguez-Amaya, D. 1999. Carotenoides y preparación de alimentos: La retención de los carotenoides provitamina A en alimentos preparados, procesados y almacenados. 105p.

Rojas, D; Repo, R; Encina, C. 2017. Determinación de la máxima retención de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante en el néctar de tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.). Sociedad Química Perú. 83(2): 174-186.

Santos, A; De Andrade, R; Castle, H; Meller, L; Da Silva, R. 2013. Rheological behavior of Brazilian Cherry (*Eugenia uniflora* L.) pulp at pasteurization temperatures. Food Science and Technology. 33(1): 26-31.

Silva, F; Gibbs, P. 2004. Target selection in designing Pasteurization process for shelf- stable high - acid fruit products. 44: 353-360.

Simpson, R. 2009. Engineering aspects of thermal food processing. CRC Press. 522p.

Singleton, V; Rossi, J. 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic phosphotungstic acid reagents. Am. J. Enol. Vitic 16: 144-158.

Stumbo, C. 1973. Thermobacteriology in food processing. Academic Press. 329p.

Taguchi, G; Chowdhury, S; Wu, Y. 2005. Taguchi' Quality engineering handbook. Editorial John Wiley & Sons, Inc.

Taimmanenate, K. 1980. The determination of kinetic parameters in heat processing of baby food. 235p.

Talcott, S; HOWARD, L. 1999. Phenolic autoxidation is responsible for color degradation in processed carrot pure. Journal of Food Chemistry. 47(4): 2199-2215.

Tchango, J; Tailliez, R; Eb, P; Njine, T; Hornez, J. 1997. Heat resistance of the spoilage yeasts *Candida pelliculosa* and *Kloeckera apis* and pasteurization values for some tropical fruit juices and nectars. Food Microbiology. 14 (1997): 93-99.

Thaipong, K; Boonprakob, U; Crosby, K; Cisneros, L; Hawkins, D. 2006. Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts. Journal of Food Composition and Analysis. 19 (2006): 669-675.

Tucker, G; Featherstone, S. 2011. Essentials of thermal processing. Willey-Blackwell. USA. 264p.

Uehara, M. 1985. Estudio del fruto de la *Passiflora juss* (granadilla) y *Passiflora mollisima* (tumbo serrano). Tesis de La Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima -Perú.

Velioglu, Y; Mazza, G; Gao, L; Oomah, B. 1998. Antioxidant activity and total phenolics in selected fruits, vegetables, and grain products. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 46(10): 4113-4117.

Wills, R; Mcglasson, B; Graham, D; Joyce, D. 1999. Introducción a la fisiología y manipulación poscosecha de frutas hortalizas y plantas ornamentales. Editorial Acribia. Zaragoza. España.

Yacuzzi, E; Martin, F; Quiñones, H; Popovsky, M. 2005. El diseño experimental y los métodos Taguchi: conceptos y aplicaciones en la industria farmacéutica. 30p.

VIII. ANEXOS

Anexo 1: Resumen de la Norma Técnica Colombiana NTC (1262).

a. Producto

Curuba fruto proveniente de cualquier variedad de la especie *Passiflora Mollissima* (H.B.K) *Bayley*, que establece los requisitos que debe cumplir la curuba destinada a ser consumida en estado fresco.

b. CLASIFICACIÓN

- **Por el tamaño:**

Por su tamaño con relación a su masa (peso), la curuba se clasifica de acuerdo con lo indicado en la Tabla 37.

Tabla 37: Clasificación de tamaños de acuerdo con la masa (peso).

Tamaños	Masa (peso) en gramos
1 Más de 70	Más de 70
2 40 a 70	40 a 70

- **Por los grados de calidad:**

Para cada tamaño se establecen los grados de calidad primera (1a) y segunda (2a) de conformidad con las condiciones indicadas en el apartado C y los requisitos que se establecen en el apartado D.

- **Designación:**

La curuba se designa por su nombre, calidad y tamaño. EJEMPLO: Curuba, calidad primera, tamaño 1.

c. CONDICIONES

- Debe ser una misma variedad, de tamaño uniforme, consistente al tacto, fresca y limpia.
- Debe presentarse entera, con el aspecto, forma y color típicos de la variedad.
- Debe tener el grado de madurez que permita la conservación adecuada del producto en condiciones normales de manipuleo, almacenamiento y transporte.
- Debe encontrarse libre de daños por ataque de insectos, de enfermedades, magulladuras, podredumbres, cicatrices y cortaduras.

d. REQUISITOS

- **Grados de calidad**

Las calidades se fijarán por las tolerancias que se establecen para las diferencias de tamaño y los defectos correspondientes a las condiciones generales enumeradas en el apartado C, de acuerdo con lo indicado en la Tabla 38.

Tabla 38: Clasificación de calidad de acuerdo con las diferencias de tamaños y defectos permitidos.

Calidad	Diferencias de tamaños por exceso o por defecto, en % en masa (peso) por unidad de empaque	Límites de defectos, en % en masa (peso), por unidad de empaque			Tolerancias máximas totales permitidas, en %
		Curubas con magulladuras	Curubas con heridas o lesiones superficiales cicatrizadas	Curubas con manchas ocasionadas por hongos	
1a	5	3	5	8	10
2a	10	5	7	15	20

Para las características no incluidas en la Tabla 37, no se aceptaran tolerancias.

Anexo 2: Determinación de Compuestos Fenólicos (Singleton & Rosi 1965).

Reactivos

- Carbonato de sodio (1N)
- Folin Ciocalteu 1N
- Agua destilada

Preparación de la muestra

La muestra será extraída tomando en consideración las mejores condiciones de extracción. El solvente a emplear es MeOH al 80%. Los extractos se almacenan a -20°C.

Procedimiento Experimental

1. Se pesó 5g de muestra y se agregó 25 ml de MeOH al 80%
2. Agitación a 100 rpm a 25°C por 5 min.
3. Reposo a 4°C por 24 horas.
4. Centrifugar a 6000 rpm por 30 min.
5. En tubos de prueba (protegido de la luz) colocar 500 µl de extracto de muestra diluida, 8000 µl de agua destilada, 250 µl de reactivo de Folin Ciocalteu 1N y 1000µl de la solución de carbonato de sodio a 1N.
6. Enrasar hasta 10000 µl con agua destilada.
7. Homogenizar la mezcla en un vortex.
8. Se llevó el espectrofotómetro a “cero” con una solución blanco de metanol.
9. Dejar reposar la muestra por 90 min en agitación en oscuridad hasta que no haya cambios significativos.
10. Leer la absorbancia a la longitud de onda de 755 nm.

Se correrá un blanco empleando 500 µl agua destilada en lugar de la muestra.

Cálculo

El contenido de fenoles totales se calcula con la curva estándar del espectro en uso.

$$Y = 0,0103X$$

Donde

Y = es el contenido de fenoles totales mg AGE/ml.

X = absorbancia de la muestra medido a 755 nm.

El contenido de compuestos fenólicos se calculó de la siguiente manera:

Compuestos fenólicos (mg AGE/ 100 g) = $Y * [(W+V)/W] * Fd * 100$

Donde:

Y = 0,0103X: curva estándar (mg ác. gálico eq./ ml extracto)

W = Peso de la muestra (g)

V = Volumen del solvente (ml)

Fd = Factor de dilución

Anexo 3: Determinación de Carotenos Totales (Talcott y Howard 1999).

Reactivos

- Acetona.
- Etanol (96%).
- Hidroxi butil tolueno (BHT).
- Hexano.

1. En condiciones semi-oscureas, se añadió dentro de un matraz con tapa aproximadamente 2 g de muestra y se le adicionó 20 ml de la una solución de acetona: etanol (1:1) que contenga 200 mg/l de BHT.
2. Esta mezcla se homogenizó bien hasta una consistencia uniforme.
3. Se lavó el remante del homogenizador con la menor cantidad posible del solvente.
4. Se filtró el homogenizado a través de un papel whatman #4, lavando con el solvente acetona: etanol hasta que no se observó más cambio en el color. Se evitó excederse de un volumen de 100 ml.
5. Se transfirió el filtrado a una fiola de 100 ml y añadió el solvente hasta obtener un volumen final de 100 ml.
6. Luego, se transfirió la solución a un frasco de plástico con tapa que tenga una capacidad mínima de 150 ml.
7. Se añadió 50 ml de hexano a la mezcla y agitó vigorosamente.
8. Se dejó la solución en reposo por 20 a 30 minutos hasta que ocurrió una separación.
9. Se añadió 25 ml de agua nanopura y mezcló la solución.
10. Se dejó la solución en reposo hasta una separación de fases.
11. Se llevó el espectrofotómetro a “cero” usando el solvente (hexano) como estándar.
12. Se colocó una alícuota de la solución de carotenoides que es la que se encuentra encima de la solución (fase hexano) en una cubeta de vidrio, la cual se llevó al espectrofotómetro a una lectura de 470 nm.
13. Se calculó la concentración de carotenos usando la curva estándar y la siguiente ecuación:

$$Y = 0,0055X$$

Donde:

Y = El contenido de carotenoides totales se expresa en mg equivalente de β -caroteno / 100 g

X = absorbancia a 470nm.

Se calcula mediante la ecuación:

$$\text{Carotenoides (mg } \beta\text{-caroteno eq./100 g)} = Y * (V/W) * Fd * 100$$

Donde:

Y = 0,0055X = mg β -caroteno eq./ ml hexano

W = Peso de la muestra (g)

V = Volumen del hexano (ml)

Fd = Factor de dilución

Anexo 4: Determinación de la Capacidad Antioxidante mediante ABTS (Arnao 2001).

Reactivos

- ABTS (2, 2'-azinobis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)).
- Metanol.
- Diclorometano.

Procedimiento

1. Se colocó 5 g de muestra y añadir 25 ml de Metanol 80%.
2. Se mezcló con un homogenizador hasta una consistencia uniforme (½-1 minuto) y se mezcló por 15 minutos. Se almacenó por 24 horas a 4 °C.
3. Antes de tomar una alícuota para el análisis, se centrifugó el homogenizado por 30 min a 6000 RPM.
4. Con una pipeta se transfirió una alícuota del sobrenadante claro y se colocó dentro de un tubo Eppendorf para medir la actividad antioxidante hidrofílica. El sobrenadante se pudo guardar a -20 °C para análisis posteriores.
5. Se re-disolvió el pellet con diclorometano (25 ml), también se puede utilizar una proporción de los solventes isopropanol/hexano (10 ml/15 ml).
6. Se mezcló con un homogenizador hasta una consistencia uniforme (1/2-1 min) y mezclar por 15 min.
7. Antes tomar una alícuota para el análisis, centrifugar el homogenizado por 20 min a 6000 RPM.
8. Con una pipeta se transfirió una alícuota del sobrenadante amarillo-naranja y colocar dentro de un tubo Eppendorf para medir la actividad antioxidante lipofílica. El sobrenadante se pudo guardar a -20 °C para análisis posteriores.
9. Ambos extractos fueron analizados inmediatamente, aunque también existe la posibilidad de almacenados a -20 °C para análisis posteriores.
10. Se llevó el espectrofotómetro a cero con metanol.
11. Se aseguró una absorbancia inicial a 734 nm de la solución diluida de ABTS que es estuvo alrededor de $1,1 \pm 0,02$.
12. Con una micropipeta se añadió una alícuota de 150 µL de la muestra (puede ser acuoso o fase orgánica) con 2850 µL de la solución diluida de ABTS dentro de un vial de plástico limpio, se corrió un blanco con 150 µL del solvente puro (de acuerdo a la

solución de extracción) hasta obtener un factor de corrección (debido a la dilución).

13. Se dejó que la muestra y el ABTS reaccionaran en un agitador en la oscuridad y cerrar los viales. La temperatura ambiental fue de 20 °C.
14. En diferentes intervalos de tiempo (15 min) se transfirió la solución a una cubeta de vidrio limpia. En algunos casos, se golpeó suavemente la cubeta hasta eliminar las burbujas y se procedió a tomar la lectura del espectrofotómetro a 734 nm.
15. Se repitieron las lecturas a través del tiempo hasta que se observó que no había cambios significativos en la absorbancia. El punto final de la absorbancia fue usado para calcular la actividad antioxidante.
16. Si la lectura de la absorbancia (Paso 14) estuvo por debajo de 0,1; se puede diluir el extracto de la muestra a un factor conveniente y repetir el ensayo de nuevo (Paso 12). Por ejemplo, 50 µL de muestra es añadida a 100 µL de solvente hasta formar un total de 150 µL.
17. Se calculó la disminución de la absorbancia debido a los antioxidantes como sigue:

$$\Delta ABTS = ABTS_d - (A_{734})_{muestra}$$

$\Delta ABTS$ es la disminución en la absorbancia debido solo al antioxidante.

$ABTS_d$ es la absorbancia del ABTS debido al efecto de la dilución con 150 µL del solvente (este valor es cerca de 1,06. Sin embargo, se determinará en el ensayo). Este control puede cambiar durante el experimento y no debe ser mayor al 5%.

18. Se estimó la actividad antioxidante como equivalente de trolox usando la respectiva curva estándar.

Capacidad antioxidante ($\mu\text{mol trolox eq. / g}$) = $Y * [(W+V)/W] * Fd$

Capacidad antioxidante hidrofílica: $Y = 0,714346X + 0,0005$

Capacidad antioxidante lipofílica: $Y = 0,7360030X + 0,0009$

Donde:

Y = $\mu\text{mol/ ml}$ extracto o g de tejido

X = $\Delta ABTS$ (Absorbancia del blanco – muestra a 734 nm)

W = Peso de la muestra (g)

V = Volumen del solvente (ml)

Fd = Factor de dilución

- a. El término $(150 \mu\text{L de muestra reactante} / \mu\text{L extracto de muestra})$ es el factor de dilución. Por ejemplo, si usamos $150 \mu\text{L}$ de la muestra de extracto en el análisis entonces la proporción sería $150/150$. Sin embargo, si $150 \mu\text{L}$ del extracto de la muestra disminuye la absorbancia por debajo de $0,1$; entonces se podemos usar $50 \mu\text{L}$ del extracto simple más $100 \mu\text{L}$ del solvente, dando una proporción de $150/50$, entonces el factor de la dilución es 3 .
- b. El término extracto total se refiere a los ml del solvente + ml de la muestra (donde, $1 \text{ g de muestra} = 1 \text{ ml de muestra}$, asuma la densidad 1).

Anexo 5: Curvas Estándar.

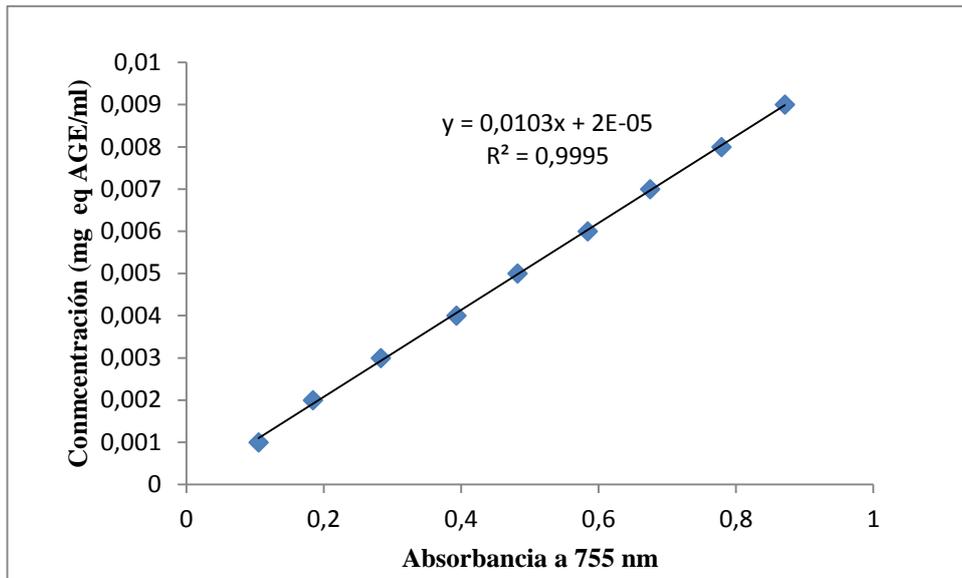


Figura 33: Curva estándar de ácido gálico para el análisis de compuestos fenólicos totales.

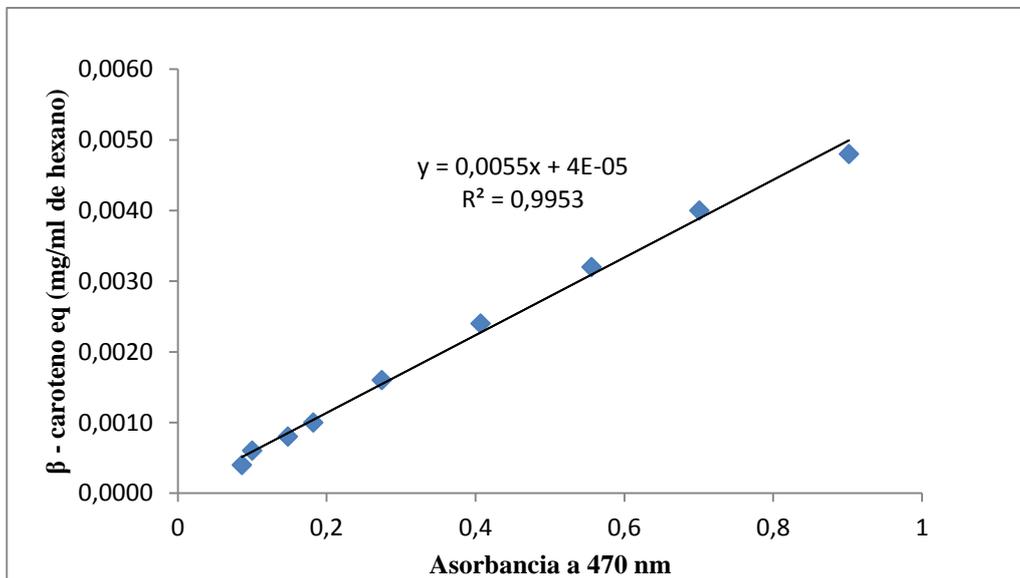


Figura 34: Curva estándar de β -caroteno para el análisis de carotenoides totales.

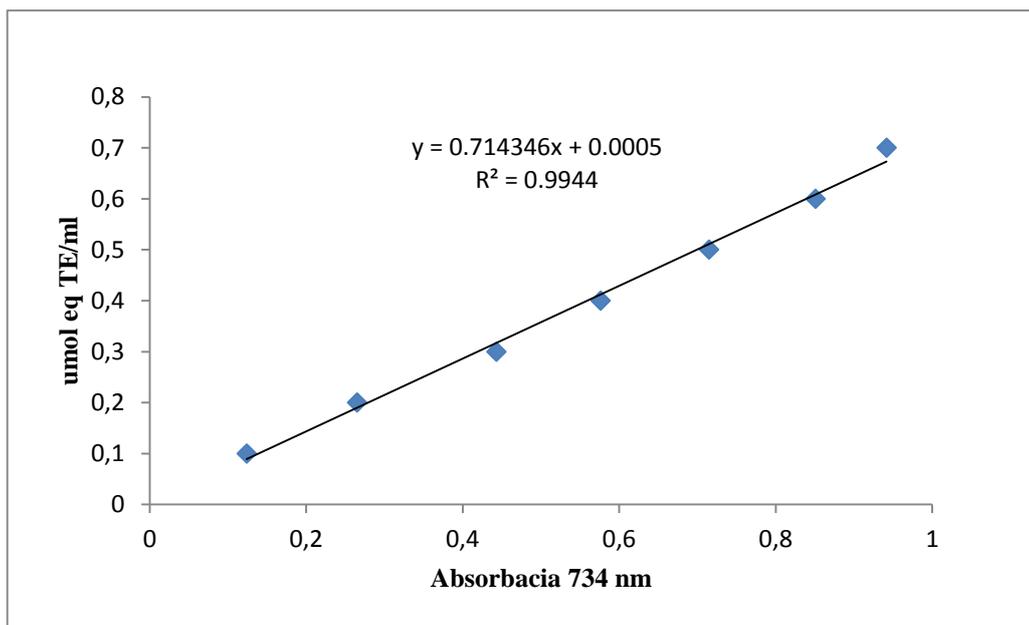


Figura 35: Curva estándar de trolox para el análisis de capacidad antioxidante hidrofílica.

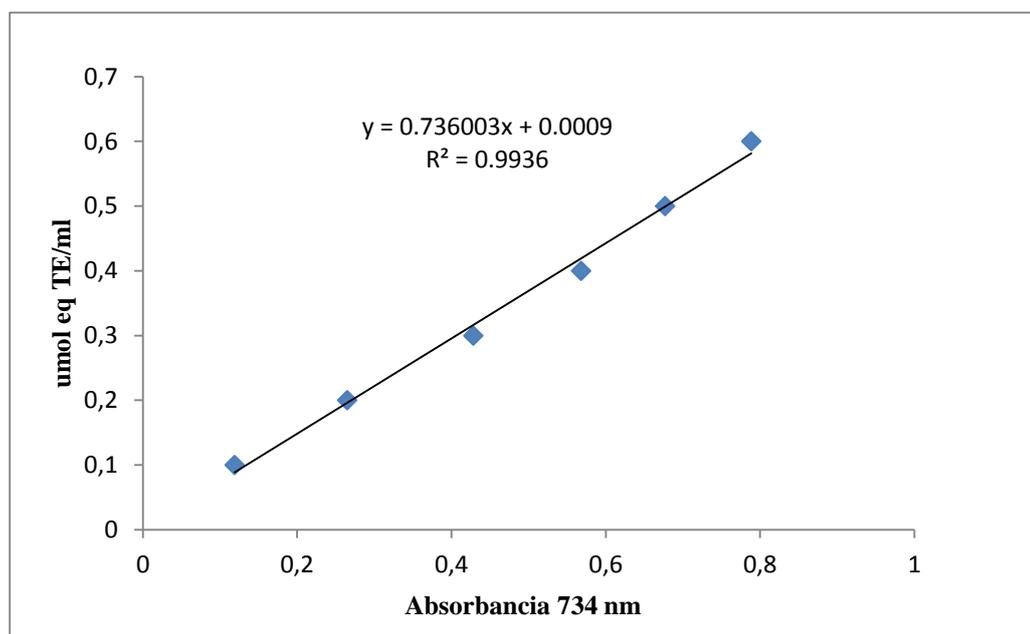


Figura 36: Curva estándar de trolox para el análisis de capacidad antioxidante lipofílica.

Anexo 6: Determinación del tiempo de tratamiento térmico.

Determinación de las características de penetración de calor

Para graficar las curvas de calentamiento y enfriamiento, en primer lugar se procedió a determinar el punto de más lento calentamiento del puré de tumbo serrano, para lo cual se realizaron varias pruebas, colocándose la aguja del sensor (Tracer) a diferentes alturas del eje central del envase con el producto, según lo recomendado por Stumbo (1973).

Posteriormente el producto se trató térmicamente a una temperatura de 100°C por 32 min, registrándose los datos de tiempo – temperatura del punto de calentamiento más frío determinado anteriormente. Con los datos obtenidos, se graficaron las curvas de calentamiento y enfriamiento, a partir de los cuales se determinó lo siguiente:

- La inversa de la pendiente de la curva de calentamiento (f_h).
- La inversa de la pendiente de la curva de enfriamiento (f_c).
- La temperatura pseudoinicial de calentamiento (T_{psi_h}).
- La temperatura pseudoinicial de enfriamiento (T_{psi_c}).
- El factor de retraso en el calentamiento (j_h).
- El factor de retraso en el enfriamiento (j_c).

Método Stumbo (1973)

Para esto es necesario tener en cuenta las características cinéticas de destrucción del microorganismo *Byssochlamys fulva* (D y Z) y los valores f_h , f_c , j_h , j_c , T_{psi_h} de la curva de penetración en el puré de tumbo serrano, así como la tabla de relaciones f_h/U : g para $Z = 8,9^\circ\text{C}$ (16°F) tomada de Stumbo (1973).

Para el cálculo de tiempo de tratamiento térmico se siguieron los siguientes pasos:

1. Se determinó el tiempo a la temperatura de la retorta (TR) equivalente a un minuto a 100°C (212°F), mediante la siguiente ecuación:

$$F_i = P = UP = 10^{\left(\frac{100-TR}{Z}\right)}$$

De donde:

$F_i = P = UP$ = Es el tiempo a cualquier temperatura equivalente a 1 minuto a 100°C.

TR = Temperatura de la retorta o de medio de calentamiento (autocalve).

Z = 8,9°C (16°F).

2. Se calculó el P_s del proceso, utilizando la siguiente ecuación:

$$P_s = D_r(\text{Log}a - \text{Log}b)$$

Donde:

P_s = Letalidad integrada o capacidad degradativa del calor recibido por todos los puntos del envase de vidrio durante el proceso.

D_r = Valor D a la temperatura de referencia.

a = Numero inicial de microorganismos antes del tratamiento térmico.

b = Número final de microorganismos después del tratamiento térmico a una temperatura constante.

3. El P_s del proceso considera la influencia del número inicial de esporas contaminantes y el nivel de reducción al que se debe llegar. El recuento total de hongos, tomada de la carga inicial del fruto de tumbo serrano se consideró como el número de ascosporas del *Byssochlamys fulva* por gramo de producto.
4. Se consideró P_s igual a P_c , para darle una mayor seguridad al tiempo de proceso calculado (Stumbo 1973).
5. Se calculó el valor de U_c , correspondiente al P_c hallado utilizando la siguiente ecuación:

$$U_c = P_c \times P_i$$

Donde:

U_c = equivalente en minutos a la temperatura de la retorta de todo el calor letal recibido en el punto más frío del recipiente durante el proceso.

6. Se consideró la relación f_h/U_c y con este valor se ingresó a la tabla reportada por Stumbo (1973) en la que se muestra las relaciones f_h/U_c para $Z = 8,9^\circ\text{C}$ e interpolando por el valor de $j_c = 1,09$ (que se obtuvo experimentalmente), encontrado el correspondiente valor de g .

7. Se calculó el valor de función I_h mediante la siguiente ecuación:

$$I_h = TR - T_i$$

Donde:

TR = Temperatura de medio de calentamiento o temperatura de la retorta.

T_i = Temperatura del producto al inicio del proceso.

8. Se calculó el tiempo de calentamiento de Ball mediante la siguiente ecuación:

$$B = f_h \times \text{Log} \left(\frac{j_h \times I_h}{g_c} \right)$$

Donde:

B = Tiempo desde que la autoclave alcanza la temperatura de trabajo hasta que el vapor es cortado, más el 42% del tiempo de elevación de la temperatura.

J_h = factor de retraso de la curva de calentamiento con respecto al centro geométrico del recipiente.

f_h = Inversa de la pendiente de la curva de calentamiento en minutos:

9. El tiempo de proceso se obtuvo mediante la siguiente ecuación:

$$T_p = B - (0,42 \times \text{CUT})$$

CUT = Tiempo de levante (tiempo en el que la temperatura de la retorta llega a ser constante).

Anexo 7: Datos utilizados para la determinación del punto más frío en el puré de tumbo serrano en frasco de vidrio C-267, mediante el valor f_h .

Tiempo	T1 (1/2)	T2 (equid)	T3 (1/3)	Log (TR-T1)	Log (TR-T2)	Log (TR-T3)
0,00	45,6	44,6	44,4	1,74	1,74	1,75
0,33	45,8	44,9	44,6	1,73	1,74	1,74
0,67	46,2	45,3	44,9	1,73	1,74	1,74
1,00	46,6	45,8	45,2	1,73	1,73	1,74
1,33	47,1	46,4	45,5	1,72	1,73	1,74
1,67	47,6	47,0	46,0	1,72	1,72	1,73
2,00	48,2	47,7	46,5	1,71	1,72	1,73
2,33	48,8	48,3	47,0	1,71	1,71	1,72
2,67	49,4	49,0	47,6	1,70	1,71	1,72
3,00	50,1	49,8	48,3	1,70	1,70	1,71
3,33	50,9	50,6	49,0	1,69	1,69	1,71
3,67	51,6	51,4	49,7	1,68	1,69	1,70
4,00	52,4	52,3	50,5	1,68	1,68	1,69
4,33	53,3	53,2	51,3	1,67	1,67	1,69
4,67	54,1	54,1	52,1	1,66	1,66	1,68
5,00	55,0	55,0	53,0	1,65	1,65	1,67
5,33	55,9	56,0	53,9	1,64	1,64	1,66
5,67	56,8	56,9	54,8	1,64	1,63	1,66
6,00	57,7	57,8	55,7	1,63	1,63	1,65
6,33	58,6	58,8	56,6	1,62	1,61	1,64
6,67	59,5	59,7	57,6	1,61	1,61	1,63
7,00	60,4	60,7	58,5	1,60	1,59	1,62
7,33	61,3	61,5	59,4	1,59	1,59	1,61
7,67	62,2	62,5	60,4	1,58	1,57	1,60
8,00	63,1	63,3	61,3	1,57	1,56	1,59
8,33	64,0	64,2	62,2	1,56	1,55	1,58
8,67	64,9	65,1	63,1	1,55	1,54	1,57
9,00	65,7	65,9	64,0	1,54	1,53	1,56
9,33	66,6	66,8	64,9	1,52	1,52	1,55
9,67	67,4	67,6	65,7	1,51	1,51	1,54
10,00	68,2	68,4	66,6	1,50	1,50	1,52
10,33	69,0	69,1	67,4	1,49	1,49	1,51
10,67	69,8	69,9	68,3	1,48	1,48	1,50
11,00	70,6	70,7	69,1	1,47	1,47	1,49
11,33	71,4	71,4	69,9	1,46	1,46	1,48

11,67	72,1	72,1	70,7	1,45	1,45	1,47
12,00	72,8	72,8	71,4	1,43	1,43	1,46
12,33	73,6	73,5	72,2	1,42	1,42	1,44
12,67	74,3	74,1	72,9	1,41	1,41	1,43
13,00	74,9	74,4	73,6	1,40	1,41	1,42
13,33	75,6	75,0	74,3	1,39	1,40	1,41
13,67	76,2	75,7	75,0	1,38	1,39	1,40
14,00	76,9	76,4	75,7	1,36	1,37	1,39
14,33	77,5	77,1	76,3	1,35	1,36	1,37
14,67	78,1	77,7	77,0	1,34	1,35	1,36
15,00	78,7	78,3	77,6	1,33	1,34	1,35
15,33	79,3	78,9	78,2	1,32	1,32	1,34
15,67	79,9	79,4	78,8	1,30	1,31	1,33
16,00	80,4	80,0	79,4	1,29	1,30	1,31
16,33	81,0	80,5	79,9	1,28	1,29	1,30
16,67	81,5	81,0	80,5	1,27	1,28	1,29
17,00	82,0	81,5	81,0	1,26	1,27	1,28
17,33	82,6	82,0	81,5	1,24	1,26	1,27
17,67	83,1	82,5	82,0	1,23	1,24	1,26
18,00	83,5	83,0	82,5	1,22	1,23	1,24
18,33	84,0	83,4	83,0	1,20	1,22	1,23
18,67	84,5	83,9	83,5	1,19	1,21	1,22
19,00	84,9	84,3	83,9	1,18	1,20	1,21
19,33	85,4	84,7	84,4	1,16	1,18	1,19
19,67	85,8	85,2	84,8	1,15	1,17	1,18
20,00	86,2	85,6	85,2	1,14	1,16	1,17
20,33	86,6	85,9	85,6	1,13	1,15	1,16
20,67	87,0	86,3	86,0	1,11	1,14	1,15
21,00	87,4	86,7	86,4	1,10	1,12	1,13
21,33	87,8	87,0	86,8	1,09	1,11	1,12
21,67	88,1	87,4	87,1	1,08	1,10	1,11
22,00	88,5	87,7	87,5	1,06	1,09	1,10
22,33	88,8	88,1	87,8	1,05	1,08	1,09
22,67	89,2	88,4	88,2	1,03	1,06	1,07
23,00	89,5	88,7	88,5	1,02	1,05	1,06
23,33	89,8	89,0	88,8	1,01	1,04	1,05
23,67	90,1	89,3	89,1	1,00	1,03	1,04
24,00	90,4	89,6	89,4	0,98	1,02	1,03
24,33	90,7	89,9	89,7	0,97	1,00	1,01

24,67	91,0	90,1	90,0	0,95	1,00	1,00
25,00	91,3	90,4	90,3	0,94	0,98	0,99
25,33	91,6	90,7	90,6	0,92	0,97	0,97
25,67	91,8	90,9	90,8	0,91	0,96	0,96
26,00	92,1	91,2	91,1	0,90	0,94	0,95
26,33	92,3	91,4	91,3	0,89	0,93	0,94
26,67	92,5	91,7	91,6	0,88	0,92	0,92
27,00	92,8	91,9	91,8	0,86	0,91	0,91
27,33	93,0	92,1	92,0	0,85	0,90	0,90
27,67	93,2	92,3	92,2	0,83	0,89	0,89
28,00	93,4	92,5	92,5	0,82	0,88	0,88
28,33	93,6	92,7	92,7	0,81	0,86	0,86
28,67	93,8	93,0	92,9	0,79	0,85	0,85
29,00	94,0	93,1	93,1	0,78	0,84	0,84
29,33	94,2	93,3	93,3	0,76	0,83	0,83
29,67	94,4	93,5	93,4	0,75	0,81	0,82
30,00	94,6	93,7	93,6	0,73	0,80	0,81
30,33	94,8	93,9	93,8	0,72	0,79	0,79
30,67	94,9	94,0	94,0	0,71	0,78	0,78
31,00	95,1	94,2	94,1	0,69	0,76	0,77
31,33	95,2	94,4	94,3	0,68	0,75	0,76
31,67	95,4	94,5	94,4	0,66	0,74	0,75
32,00	95,5	94,7	94,6	0,65	0,72	0,73
32,33	95,7	94,8	94,7	0,63	0,72	0,72
32,67	95,8	95,0	94,9	0,62	0,70	0,71
33,00	96,0	95,1	95,0	0,60	0,69	0,70
33,33	96,1	95,3	95,1	0,59	0,67	0,69
33,67	96,2	95,4	95,3	0,58	0,66	0,67
34,00	96,4	95,5	95,4	0,56	0,65	0,66
34,33	96,5	95,6	95,5	0,54	0,64	0,65
34,67	96,6	95,8	95,6	0,53	0,62	0,64
35,00	96,7	95,9	95,8	0,52	0,61	0,62
35,33	96,8	96,0	95,8	0,51	0,60	0,62
35,67	96,9	96,1	96,0	0,49	0,59	0,60
36,00	97,0	96,2	96,1	0,48	0,58	0,59
36,33	97,1	96,3	96,2	0,46	0,57	0,58
36,67	97,2	96,4	96,3	0,45	0,56	0,57
37,00	97,3	96,5	96,4	0,43	0,54	0,56
37,33	97,4	96,6	96,4	0,41	0,53	0,56

37,67	97,5	96,7	96,6	0,40	0,52	0,53
38,00	97,6	96,8	96,6	0,38	0,51	0,53
38,33	97,6	96,9	96,7	0,38	0,49	0,52
38,67	97,7	97,0	96,8	0,36	0,48	0,51
39,00	97,8	97,1	96,8	0,34	0,46	0,51
39,33	97,8	97,1	96,9	1,89	1,89	1,89
39,67	97,8	96,8	97,0	1,89	1,89	1,89
40,00	97,7	96,5	96,9	1,89	1,88	1,89
40,33	97,3	96,0	97,0	1,89	1,88	1,89
40,67	97,0	95,1	97,0	1,89	1,88	1,89
41,00	96,9	94,6	97,1	1,89	1,87	1,89
41,33	96,7	93,7	97,1	1,88	1,87	1,89
41,67	96,4	92,5	97,2	1,88	1,86	1,89
42,00	95,9	92,2	97,2	1,88	1,86	1,89
42,33	94,7	91,9	97,1	1,87	1,86	1,89
42,67	92,8	91,7	97,0	1,86	1,86	1,89
43,00	90,8	91,4	96,6	1,85	1,85	1,88
43,33	89,2	91,0	96,1	1,84	1,85	1,88
43,67	87,8	90,5	95,5	1,83	1,85	1,88
44,00	86,5	90,0	94,8	1,82	1,85	1,87
44,33	85,0	89,4	94,0	1,81	1,84	1,87
44,67	83,8	88,7	93,0	1,80	1,84	1,86
45,00	82,3	88,0	92,1	1,79	1,83	1,86
45,33	81,1	87,4	91,3	1,79	1,83	1,85
45,67	80,2	86,6	90,6	1,78	1,82	1,85
46,00	79,3	85,7	89,9	1,77	1,82	1,84
46,33	78,4	84,5	89,0	1,77	1,81	1,84
46,67	77,6	83,5	88,2	1,76	1,80	1,83
47,00	76,7	82,4	87,3	1,75	1,80	1,83
47,33	75,9	81,4	86,3	1,75	1,79	1,82
47,67	75,0	80,3	85,3	1,74	1,78	1,81
48,00	74,1	79,2	84,3	1,73	1,77	1,81
48,33	73,3	78,1	83,3	1,73	1,76	1,80
48,67	72,4	77,1	82,2	1,72	1,76	1,79
49,00	71,5	76,0	81,2	1,71	1,75	1,79
49,33	70,6	75,0	80,1	1,70	1,74	1,78
49,67	69,7	73,9	79,0	1,70	1,73	1,77
50,00	68,8	72,9	77,9	1,69	1,72	1,76
50,33	68,0	71,9	76,8	1,68	1,72	1,75

50,67	67,1	70,8	75,8	1,67	1,71	1,75
51,00	66,2	69,8	74,7	1,66	1,70	1,74
51,33	65,4	68,9	73,7	1,66	1,69	1,73
51,67	64,5	67,9	72,6	1,65	1,68	1,72
52,00	63,7	66,9	71,6	1,64	1,67	1,71
52,33	62,8	66,0	70,6	1,63	1,66	1,70
52,67	62,0	65,1	69,6	1,62	1,65	1,70
53,00	61,2	64,2	68,6	1,61	1,65	1,69
53,33	60,4	63,3	67,7	1,61	1,64	1,68
53,67	59,6	62,4	66,7	1,60	1,63	1,67
54,00	58,9	61,6	65,8	1,59	1,62	1,66
54,33	58,1	60,7	64,9	1,58	1,61	1,65
54,67	57,4	59,9	64,0	1,57	1,60	1,64
55,00	56,7	59,1	63,1	1,56	1,59	1,63
55,33	56,0	58,3	62,3	1,56	1,58	1,63
55,67	55,3	57,6	61,4	1,55	1,58	1,62
56,00	54,6	56,8	60,6	1,54	1,57	1,61
56,33	53,9	56,1	59,8	1,53	1,56	1,60
56,67	53,3	55,4	59,0	1,52	1,55	1,59
57,00	52,7	54,7	58,3	1,51	1,54	1,58
57,33	52,1	54,0	57,5	1,51	1,53	1,57
57,67	51,4	53,3	56,8	1,50	1,52	1,57
58,00	50,9	52,7	56,1	1,49	1,51	1,56
58,33	50,3	52,0	55,4	1,48	1,51	1,55
58,67	49,7	51,4	54,7	1,47	1,50	1,54
59,00	49,2	50,9	54,0	1,47	1,49	1,53
59,33	48,6	50,3	53,4	1,46	1,48	1,52
59,67	48,0	49,7	52,8	1,45	1,47	1,52
60,00	47,5	49,1	52,1	1,44	1,46	1,51
60,33	47,0	48,5	51,5	1,43	1,45	1,50
60,67	46,5	47,9	50,9	1,42	1,45	1,49
61,00	46,0	47,4	50,3	1,41	1,44	1,48
61,33	45,5	46,8	49,8	1,41	1,43	1,47
61,67	45,1	46,3	49,2	1,40	1,42	1,47
62,00	44,6	45,8	48,7	1,39	1,41	1,46
62,33	44,2	45,4	48,1	1,38	1,40	1,45
62,67	43,7	44,9	47,6	1,37	1,40	1,44
63,00	43,3	44,4	47,1	1,37	1,39	1,43
63,33	42,9	44,0	46,6	1,36	1,38	1,42

63,67	42,5	43,6	46,1	1,35	1,37	1,42
64,00	42,1	43,1	45,6	1,34	1,36	1,41
64,33	41,7	42,7	45,1	1,34	1,36	1,40
64,67	41,3	42,3	44,7	1,33	1,35	1,39
65,00	40,9	41,9	44,2	1,32	1,34	1,38
65,33	40,6	41,5	43,8	1,31	1,33	1,38
65,67	40,2	41,1	43,3	1,31	1,32	1,37
66,00	39,9	40,7	42,9	1,30	1,32	1,36
66,33	39,5	40,3	42,5	1,29	1,31	1,35
66,67	39,2	40,0	42,1	1,28	1,30	1,34
67,00	38,8	39,6	41,6	1,27	1,29	1,33
67,33	38,5	39,3	41,2	1,27	1,29	1,33
67,67	38,2	38,9	40,9	1,26	1,28	1,32
68,00	37,9	38,6	40,5	1,25	1,27	1,31
68,33	37,6	38,3	40,1	1,25	1,26	1,30
68,67	37,3	37,9	39,7	1,24	1,25	1,29
69,00	37,0	37,6	39,4	1,23	1,25	1,29
69,33	36,7	37,3	39,0	1,22	1,24	1,28
69,67	36,4	37,0	38,7	1,21	1,23	1,27
70,00	36,2	36,7	38,4	1,21	1,22	1,26
70,33	35,9	36,4	38,1	1,20	1,21	1,26
70,67	35,6	36,2	37,8	1,19	1,21	1,25
71,00	35,4	35,9	37,4	1,19	1,20	1,24
71,33	35,1	35,6	37,2	1,18	1,19	1,24
71,67	34,9	35,4	36,9	1,17	1,19	1,23
72,00	34,6	35,1	36,6	1,16	1,18	1,22
72,33	34,4	34,9	36,3	1,16	1,17	1,21
72,67	34,2	34,6	36,0	1,15	1,16	1,20
73,00	34,0	34,4	35,8	1,15	1,16	1,20
73,33	33,8	34,2	35,5	1,14	1,15	1,19
73,67	33,5	33,9	35,3	1,13	1,14	1,18
74,00	33,3	33,7	35,0	1,12	1,14	1,18
74,33	33,1	33,5	34,8	1,12	1,13	1,17
74,67	32,9	33,3	34,5	1,11	1,12	1,16

T1: Punto ubicado a 1/2 de la base (centro geométrico del envase)

T2: Punto equidistante entre los dos

T3: Punto ubicado a 1/3 de la base.

Anexo 8: Datos de tiempo y temperatura utilizados para la construcción de la figura 28 en el proceso de pasteurización del puré de tumbo serrano.

Tiempo (min)	TR (°C)	Ti(°C)
0,00	64,4	56,0
0,33	71,3	56,2
0,67	75,1	56,5
1,00	79,3	56,8
1,33	83,7	57,1
1,67	87,7	57,5
2,00	91,4	58,0
2,33	94,6	58,5
2,67	97,1	59,0
3,00	98,0	59,6
3,33	98,6	60,2
3,67	99,1	60,9
4,00	99,9	61,5
4,33	100,0	62,2
4,67	100,0	62,9
5,00	100,0	63,6
5,33	100,0	64,3
5,67	100,0	65,0
6,00	100,0	65,7
6,33	100,0	66,5
6,67	100,0	67,2
7,00	100,0	67,9
7,33	100,0	68,6
7,67	100,0	69,3
8,00	100,0	70,0
8,33	100,0	70,7
8,67	100,0	71,4
9,00	100,0	72,1
9,33	100,0	72,8
9,67	100,0	73,5
10,00	100,0	74,1
10,33	100,0	74,7
10,67	100,0	75,4
11,00	100,0	76,0

11,33	100,0	76,6
11,67	100,0	77,1
12,00	100,0	77,7
12,33	99,9	78,3
12,67	99,9	78,8
13,00	99,9	79,4
13,33	99,9	79,9
13,67	99,9	80,4
14,00	99,9	80,9
14,33	100,0	81,4
14,67	100,0	81,9
15,00	100,0	82,4
15,33	100,0	82,8
15,67	100,0	83,3
16,00	100,0	83,7
16,33	100,0	84,2
16,67	100,0	84,6
17,00	100,0	85,0
17,33	100,0	85,4
17,67	100,0	85,8
18,00	100,0	86,2
18,33	99,9	86,5
18,67	99,9	86,9
19,00	99,9	87,2
19,33	99,9	87,6
19,67	99,9	87,9
20,00	100,0	88,3
20,33	100,0	88,6
20,67	100,0	88,9
21,00	100,0	89,2
21,33	100,0	89,5
21,67	100,0	89,8
22,00	100,0	90,0
22,33	100,0	90,3
22,67	100,0	90,6
23,00	100,0	90,8
23,33	100,0	91,1
23,67	100,0	91,3
24,00	100,0	91,6

24,33	100,0	91,8
24,67	100,0	92,0
25,00	100,0	92,2
25,33	100,0	92,4
25,67	100,0	92,7
26,00	100,0	92,9
26,33	100,0	93,1
26,67	100,0	93,2
27,00	100,0	93,4
27,33	100,0	93,6
27,67	100,0	93,8
28,00	100,0	94,0
28,33	100,0	94,1
28,67	100,0	94,3
29,00	100,0	94,4
29,33	100,0	94,6
29,67	100,0	94,7
30,00	100,0	94,9
30,33	100,0	95,0
30,67	100,0	95,2
31,00	100,0	95,3
31,33	100,0	95,4
31,67	100,0	95,5
32,00	100,0	95,7
32,33	100,0	95,8
32,67	99,9	95,9
33,00	99,9	96,0
33,33	99,9	96,1
33,67	99,7	96,2
34,00	74,7	96,3
34,33	57,4	96,3
34,67	48,3	96,2
35,00	40,0	96,1
35,33	34,6	96,0
35,67	30,7	95,9
36,00	28,6	95,9
36,33	28,2	95,9
36,67	28,0	95,8
37,00	26,0	95,6

37,33	24,1	95,3
37,67	23,0	94,8
38,00	22,2	94,0
38,33	22,2	93,2
38,67	22,2	92,2
39,00	22,2	90,8
39,33	22,2	89,9
39,67	22,2	88,6
40,00	22,2	87,4
40,33	22,2	86,3
40,67	22,2	84,9
41,00	22,2	83,5
41,33	22,2	82,3
41,67	22,2	81,0
42,00	22,2	79,8
42,33	22,2	78,6
42,67	22,2	77,5
43,00	22,2	76,4
43,33	22,2	75,3
43,67	22,2	74,2
44,00	22,2	73,2
44,33	22,2	72,2
44,67	22,2	71,2
45,00	22,2	70,2
45,33	22,2	69,3
45,67	22,2	68,4
46,00	22,2	67,5
46,33	22,2	66,6
46,67	22,2	65,7
47,00	22,2	64,9
47,33	22,2	64,0
47,67	22,2	63,2
48,00	22,2	62,4
48,33	22,2	61,6
48,67	22,2	60,8
49,00	22,2	60,0
49,33	22,2	59,3
49,67	22,2	58,5
50,00	22,2	57,8

50,33	22,2	57,0
50,67	22,2	56,3
51,00	22,2	55,6
51,33	22,2	55,0
51,67	22,2	54,3
52,00	22,2	53,6
52,33	22,2	53,0
52,67	22,2	52,4
53,00	22,2	51,8
53,33	22,2	51,2
53,67	22,2	50,6
54,00	22,2	50,0
54,33	22,2	49,4
54,67	22,2	48,9
55,00	22,2	48,3
55,33	22,2	47,8
55,67	22,2	47,3
56,00	22,2	46,8
56,33	22,2	46,3
56,67	22,2	45,8
57,00	22,2	45,3
57,33	22,2	44,9
57,67	22,2	44,4
58,00	22,2	44,0
58,33	22,2	43,5
58,67	22,2	43,1
59,00	22,2	42,7
59,33	22,2	42,3
59,67	22,2	41,9
60,00	22,2	41,5
60,33	22,2	41,1
60,67	22,2	40,7
61,00	22,2	40,3
61,33	22,2	40,0
61,67	22,2	39,6
62,00	22,2	39,2
62,33	22,2	38,9
62,67	22,2	38,6
63,00	22,2	38,2

63,33	22,2	37,9
63,67	22,2	37,6
64,00	22,2	37,3
64,33	22,2	37,0
64,67	22,2	36,7
65,00	22,2	36,4
65,33	22,2	36,1
65,67	22,2	35,8
66,00	22,2	35,6
66,33	22,2	35,3
66,67	22,2	35,0
67,00	22,2	34,8
67,33	22,2	34,6
67,67	22,2	34,3
68,00	22,2	34,1
68,33	22,2	33,8
68,67	22,2	33,6
69,00	22,2	33,4

Anexo 9: Datos utilizados para la determinación de la curva de calentamiento en el puré de tumbo serrano en frasco de vidrio C-267.

Tiempo (min)	TR (°C)	Ti(°C)	Log(TR-Ti)
0,00	64,4	56,0	1,64
0,33	71,3	56,2	1,64
0,67	75,1	56,5	1,64
1,00	79,3	56,8	1,64
1,33	83,7	57,1	1,63
1,67	87,7	57,5	1,63
2,00	91,4	58,0	1,62
2,33	94,6	58,5	1,62
2,67	97,1	59,0	1,61
3,00	98,0	59,6	1,61
3,33	98,6	60,2	1,60
3,67	99,1	60,9	1,59
4,00	99,9	61,5	1,59
4,33	100	62,2	1,58
4,67	100	62,9	1,57
5,00	100	63,6	1,56
5,33	100	64,3	1,55
5,67	100	65,0	1,54
6,00	100	65,7	1,54
6,33	100	66,5	1,53
6,67	100	67,2	1,52
7,00	100	67,9	1,51
7,33	100	68,6	1,50
7,67	100	69,3	1,49
8,00	100	70,0	1,48
8,33	100	70,7	1,47
8,67	100	71,4	1,46
9,00	100	72,1	1,45
9,33	100	72,8	1,43
9,67	100	73,5	1,42
10,00	100	74,1	1,41
10,33	100	74,7	1,40
10,67	100	75,4	1,39
11,00	100	76,0	1,38

11,33	100	76,6	1,37
11,67	100	77,1	1,36
12,00	100	77,7	1,35
12,33	99,9	78,3	1,34
12,67	99,9	78,8	1,33
13,00	99,9	79,4	1,31
13,33	99,9	79,9	1,30
13,67	99,9	80,4	1,29
14,00	99,9	80,9	1,28
14,33	100	81,4	1,27
14,67	100	81,9	1,26
15,00	100	82,4	1,25
15,33	100	82,8	1,24
15,67	100	83,3	1,22
16,00	100	83,7	1,21
16,33	100	84,2	1,20
16,67	100	84,6	1,19
17,00	100	85,0	1,18
17,33	100	85,4	1,16
17,67	100	85,8	1,15
18,00	100	86,2	1,14
18,33	99,9	86,5	1,13
18,67	99,9	86,9	1,12
19,00	99,9	87,2	1,11
19,33	99,9	87,6	1,09
19,67	99,9	87,9	1,08
20,00	100	88,3	1,07
20,33	100	88,6	1,06
20,67	100	88,9	1,05
21,00	100	89,2	1,03
21,33	100	89,5	1,02
21,67	100	89,8	1,01
22,00	100	90,0	1,00
22,33	100	90,3	0,99
22,67	100	90,6	0,97
23,00	100	90,8	0,96
23,33	100	91,1	0,95
23,67	100	91,3	0,94
24,00	100	91,6	0,92

24,33	100	91,8	0,91
24,67	100	92,0	0,90
25,00	100	92,2	0,89
25,33	100	92,4	0,88
25,67	100	92,7	0,86
26,00	100	92,9	0,85
26,33	100	93,1	0,84
26,67	100	93,2	0,83
27,00	100	93,4	0,82
27,33	100	93,6	0,81
27,67	100	93,8	0,79
28,00	100	94,0	0,78
28,33	100	94,1	0,77
28,67	100	94,3	0,76
29,00	100	94,4	0,75
29,33	100	94,6	0,73
29,67	100	94,7	0,72
30,00	100	94,9	0,71
30,33	100	95,0	0,70
30,67	100	95,2	0,68
31,00	100	95,3	0,67
31,33	100	95,4	0,66
31,67	100	95,5	0,65
32,00	100	95,7	0,63
32,33	100	95,8	0,62
32,67	99,9	95,9	0,61
33,00	99,9	96,0	0,60
33,33	99,9	96,1	0,59
33,67	99,7	96,2	0,58
34,00	74,7	96,3	0,57
34,33	57,4	96,3	0,57

Anexo 10: Datos de tiempo y temperatura utilizados para el cálculo de la curva de enfriamiento en el puré de tumbo serrano en frasco de vidrio C-267.

Tiempo (min)	TR (°C)	Ti(°C)	Log(Ti – Tw)
0,00	48,3	96,2	1,88
0,33	40	96,1	1,88
0,67	34,6	96,0	1,88
1,00	30,7	95,9	1,88
1,33	28,6	95,9	1,88
1,67	28,2	95,9	1,88
2,00	28	95,8	1,88
2,33	26	95,6	1,88
2,67	24,1	95,3	1,88
3,00	23	94,8	1,87
3,33	22,2	94,0	1,87
3,67	22,2	93,2	1,86
4,00	22,2	92,2	1,86
4,33	22,2	90,8	1,85
4,67	22,2	89,9	1,84
5,00	22,2	88,6	1,84
5,33	22,2	87,4	1,83
5,67	22,2	86,3	1,82
6,00	22,2	84,9	1,81
6,33	22,2	83,5	1,80
6,67	22,2	82,3	1,79
7,00	22,2	81,0	1,79
7,33	22,2	79,8	1,78
7,67	22,2	78,6	1,77
8,00	22,2	77,5	1,76
8,33	22,2	76,4	1,75
8,67	22,2	75,3	1,74
9,00	22,2	74,2	1,73
9,33	22,2	73,2	1,73
9,67	22,2	72,2	1,72
10,00	22,2	71,2	1,71
10,33	22,2	70,2	1,70
10,67	22,2	69,3	1,69
11,00	22,2	68,4	1,68

11,33	22,2	67,5	1,68
11,67	22,2	66,6	1,67
12,00	22,2	65,7	1,66
12,33	22,2	64,9	1,65
12,67	22,2	64,0	1,64
13,00	22,2	63,2	1,64
13,33	22,2	62,4	1,63
13,67	22,2	61,6	1,62
14,00	22,2	60,8	1,61
14,33	22,2	60,0	1,60
14,67	22,2	59,3	1,59
15,00	22,2	58,5	1,59
15,33	22,2	57,8	1,58
15,67	22,2	57,0	1,57
16,00	22,2	56,3	1,56
16,33	22,2	55,6	1,55
16,67	22,2	55,0	1,54
17,00	22,2	54,3	1,54
17,33	22,2	53,6	1,53
17,67	22,2	53,0	1,52
18,00	22,2	52,4	1,51
18,33	22,2	51,8	1,50
18,67	22,2	51,2	1,49
19,00	22,2	50,6	1,49
19,33	22,2	50,0	1,48
19,67	22,2	49,4	1,47
20,00	22,2	48,9	1,46
20,33	22,2	48,3	1,45
20,67	22,2	47,8	1,44
21,00	22,2	47,3	1,44
21,33	22,2	46,8	1,43
21,67	22,2	46,3	1,42
22,00	22,2	45,8	1,41
22,33	22,2	45,3	1,40
22,67	22,2	44,9	1,40
23,00	22,2	44,4	1,39
23,33	22,2	44,0	1,38
23,67	22,2	43,5	1,37
24,00	22,2	43,1	1,36

24,33	22,2	42,7	1,36
24,67	22,2	42,3	1,35
25,00	22,2	41,9	1,34
25,33	22,2	41,5	1,33
25,67	22,2	41,1	1,32
26,00	22,2	40,7	1,32
26,33	22,2	40,3	1,31
26,67	22,2	40,0	1,30
27,00	22,2	39,6	1,29
27,33	22,2	39,2	1,28
27,67	22,2	38,9	1,28
28,00	22,2	38,6	1,27
28,33	22,2	38,2	1,26
28,67	22,2	37,9	1,25
29,00	22,2	37,6	1,25
29,33	22,2	37,3	1,24
29,67	22,2	37,0	1,23
30,00	22,2	36,7	1,22
30,33	22,2	36,4	1,21
30,67	22,2	36,1	1,21
31,00	22,2	35,8	1,20
31,33	22,2	35,6	1,19
31,67	22,2	35,3	1,18
32,00	22,2	35,0	1,18
32,33	22,2	34,8	1,17
32,67	22,2	34,6	1,16
33,00	22,2	34,3	1,16
33,33	22,2	34,1	1,15
33,67	22,2	33,8	1,14
34,00	22,2	33,6	1,13
34,33	22,2	33,4	1,13

Anexo 11: Cálculos realizados para determinar los parámetros de penetración de calor.

1. Cálculo de los parámetros de calentamiento ($T_R = 100^\circ\text{C}$, $T_0 = 56^\circ\text{C}$)

- A partir de los datos del Anexo 10, y tomando la siguiente ecuación:

$$\text{Log}(T_R - T_i) = -\frac{t}{f_h} + \text{Log}(T_R - T_{psi_h})$$

Se encuentra que la ecuación de la Figura 24 mediante regresión lineal es:

$$\text{Log}(T_R - T_i) = -0.0334t + 1,7264$$

De tal forma que: $-\frac{t}{f_h} = -0,0334 \quad \Rightarrow \quad f_h = 29,92 \text{ min}$

Además: $\text{log}(100 - T_{psi_h}) = 1,7264 \quad \Rightarrow \quad T_{psi_h} = 46,74^\circ\text{C}$

- El factor de retraso de calentamiento será:

$$j_h = \frac{T_R - T_{psi_h}}{T_R - T_0} = \frac{100 - 46.74}{100 - 56}$$

$$j_h = 1,21$$

2. Cálculo de los parámetros de enfriamiento ($T_w = 20^\circ\text{C}$; $T_g = 96,2^\circ\text{C}$)

- A partir de los datos del Anexo 11, y tomando la siguiente ecuación:

$$\text{Log}(T_i - T_w) = -\frac{t}{f_c} + \text{Log}(T_{psi_c} - T_w)$$

Se encuentra que la ecuación de la Figura 25 mediante regresión lineal es:

$$\text{Log}(T_i - T_w) = -0,0238t + 1,9393$$

De tal forma que: $-\frac{t}{f_c} = -0,0238 \quad \Rightarrow \quad f_c = 42 \text{ min}$

Además: $\text{Log}(T_{psi_c} - 20) = 1,9393 \quad \Rightarrow \quad T_{psi_c} = 106,96^\circ$

- El factor de retraso de calentamiento será:

$$j_c = \frac{T_{psi_c} - T_w}{T_R - T_w} = \frac{106,96 - 20}{100 - 20} \quad \Rightarrow \quad j_c = 1,09$$

Anexo 12: Cálculo para determinar el tiempo del tratamiento térmico con el Método (Stumbo 1973).

Datos:

$T_0 = 56,0\text{ }^\circ\text{C}$	$f_h = 29,92\text{ min}$
$T_r = 100\text{ }^\circ\text{C}$	$\text{CUT} = 4\text{ min}$
$T_w = 20\text{ }^\circ\text{C}$	$a = 1600\text{ Ufc/g}$
$j_h = 1,21$	$b = 1,6 \times 10^{-2}$
$j_c = 1,09$	$Z = 8,9\text{ }^\circ\text{C}; D_{93,3\text{ }^\circ\text{C}} = 1\text{ min } Byssochlamys\ fulva$

Cálculo del Valor P (UP) del proceso de pasteurización.

$$UP = P_{93,3\text{ }^\circ\text{C}} = D_{93,3\text{ }^\circ\text{C}}(\text{Log}a - \text{Log}b)$$

$$P_{93,3\text{ }^\circ\text{C}} = 1 \times (\text{Log}1600 - \text{Log}1,6 \times 10^{-2})$$

$$P_{93,3\text{ }^\circ\text{C}} = 5,00\text{ min}$$

$$P_{93,3\text{ }^\circ\text{C}} = P_s = P_c = 5,00 \times 10^{\left(\frac{93,3-100}{8,9}\right)} = 0,883$$

Cálculo del tiempo de Tratamiento térmico.

1. Para TR = 85°C (185°F)

• **Cálculo del Pi**

$$P_i = 10^{\left(\frac{100-85}{8,9}\right)} = 48,46$$

• **Cálculo del gc**

$$U_c = P_c \times P_i = 0,883 \times 48,46 = 42,8109$$

$$\frac{f_h}{U_c} = \frac{29,92}{42,81} = 0,70$$

Utilizando las tablas para $Z = 8,9\text{ }^\circ\text{C}$, f_h/U_c vs j_c de Stumbo (1973) e interpolando se encuentra el valor de $g = 0,087\text{ }^\circ\text{C}$.

- **Cálculo del tiempo de proceso.**

$$I_h = 85 - 56 = 29$$

$$B = f_h \text{Log} \left(\frac{J_h \times I_h}{g_c} \right) = 29,92 \times \text{Log} \left(\frac{1,21 \times 29}{0,087} \right) = 78$$

$$t_p = 78 - 0,42(4) \quad \Rightarrow \quad t_p = 76,33$$

2. Para TR = 90°C (194°F)

- **Cálculo del Pi**

$$P_i = 10^{\left(\frac{100-85}{8,9}\right)} = 13,29$$

- **Cálculo del gc**

$$U_c = P_c \times P_i = 0,883 \times 13,29 = 11,74$$

$$\frac{f_h}{U_c} = \frac{29,92}{11,74} = 2,55$$

Utilizando las tablas para Z = 8,9°C, fh/Uc vs jc de Stumbo (1973) e interpolando se encuentra el valor de g = 1,29°C.

- **Cálculo del tiempo de proceso.**

$$I_h = 90 - 56 = 34$$

$$B = f_h \text{Log} \left(\frac{J_h \times I_h}{g_c} \right) = 29,92 \times \text{Log} \left(\frac{1,21 \times 34}{1,29} \right) = 44,99$$

$$t_p = 43,99 - 0,42(4) \quad \Rightarrow \quad t_p = 43,30$$

3. Para TR = 94,0416°C (201,27°F)

- **Cálculo del Pi**

$$P_i = 10^{\left(\frac{100-94,04}{8,9}\right)} = 4,67$$

- **Cálculo del gc**

$$U_c = P_c \times P_i = 0,883 \times 4,67 = 4,13$$

$$\frac{f_h}{U_c} = \frac{29,92}{4,13} = 7,24$$

Utilizando las tablas para $Z = 8,9^\circ\text{C}$, f_h/U_c vs j_c de Stumbo (1973) e interpolando se encuentra el valor de $g = 3,34^\circ\text{C}$.

- **Cálculo del tiempo de proceso.**

$$I_h = 94,0416 - 56 = 38,0416$$

$$B = f_h \text{Log} \left(\frac{j_h \times I_h}{g_c} \right) = 29,92 \times \text{Log} \left(\frac{1,21 \times 38,0416}{3,34} \right) = 34,08$$

$$t_p = 34,08 - 0,42(4) \quad \Rightarrow \quad t_p = 32,40$$

4. Para TR = 95°C (203°F)

- **Cálculo del Pi**

$$P_i = 10^{\left(\frac{100-95}{8,9}\right)} = 3,65$$

- **Cálculo del gc**

$$U_c = P_c \times P_i = 0,883 \times 3,65 = 3,22$$

$$\frac{f_h}{U_c} = \frac{29,92}{3,22} = 9,29$$

Utilizando las tablas para $Z = 8,9^\circ\text{C}$, f_h/U_c vs j_c de Stumbo (1973) e interpolando se encuentra el valor de $g = 3,93^\circ\text{C}$.

- **Cálculo del tiempo de proceso.**

$$I_h = 95 - 56 = 39$$

$$B = f_h \text{Log} \left(\frac{j_h \times I_h}{g_c} \right) = 29,92 \times \text{Log} \left(\frac{1,21 \times 39}{3,93} \right) = 32,31$$

$$t_p = 32,31 - 0,42(4) \quad \Rightarrow \quad t_p = 30,63$$

5. Para TR = 100°C (212°F)

- **Cálculo del Pi**

$$P_i = 10^{\left(\frac{100-100}{8,9}\right)} = 1$$

- **Cálculo del gc**

$$U_c = P_c \times P_i = 0,883 \times 1 = 0,883$$

$$\frac{f_h}{U_c} = \frac{29,92}{0,883} = 33,87$$

Utilizando las tablas para Z = 8,9°C, fh/Uc vs jc de Stumbo (1973) e interpolando se encuentra el valor de g = 7,56°C.

- **Cálculo del tiempo de proceso.**

$$I_h = 100 - 56 = 44$$

$$B = f_h \text{Log} \left(\frac{j_h \times I_h}{g_c} \right) = 29,92 \times \text{Log} \left(\frac{1,21 \times 44}{7,56} \right) = 25,37$$

$$t_p = 25,37 - 0,42(4) \quad \Rightarrow \quad t_p = 23,69$$

Anexo 13: Valores de fh para la ubicación del punto más frío.

Tabla 39: Valores de fh para la ubicación del punto más frío en el puré de tumbo serrano usando una réplica.

Replica	Ubicación de Sensor	fh (min)
1	1/2	25,89096695
1	equidistante	28,53018115
1	1/3	28,3088255
2	1/2	30,77432324
2	equidistante	31,63684693
2	1/3	31,04134914

Tabla 40: Análisis de varianza (ANOVA) para los valores de fh (min) en las 3 ubicaciones de los sensores de temperatura usando una réplica.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	3,35634	2	1,67817	0,25	0,7964
Intra grupos	20,4826	3	6,82754		
Total (Corr.)	23,839	5			