

T  
660.284  
C28

**NO SALE A  
DOMICILIO**

# UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA AMAZONÍA PERUANA



**FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

**TRABAJO FINAL DE CARRERA**

**EFFECTO DE LA TEMPERATURA DE SECADO Y CONCENTRACION  
DE ENCAPSULANTE EN EL RENDIMIENTO Y CONCENTRACION DE  
VITAMINA C DEL JUGO DE *Myrciaria dubia* (CAMU-CAMU) ATOMIZADO**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER:  
ROMULO AUGUSTO CASANOVA FLORES**

**ASESOR**

**ING° MSc. EMILIO DIAZ SANGAMA**

**CO - ASESORES**

**ING° ORLANDO CASANOVA FLORES**

**DR. AMERICO GUEVARA PEREZ**

**DONADO POR:**

*ROMULO D. CASANOVA FLORES*

*Iquitos, 29 de 10 de 2013*

**IQUITOS - PERÚ**

**2013**



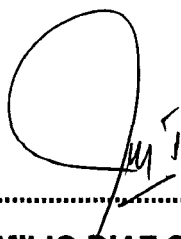
274

## AUTORIZACION DEL ASESOR

**Ing° MSc EMILIO DIAZ SANGAMA**, profesor principal del Departamento académico de Ciencia y Tecnología de los Alimentos de la Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana:

**INFORMA:** Que el **Br. ROMULO AUGUSTO CASANOVA FLORES**, ha realizado bajo mi dirección y con la colaboración de los investigadores **Ing° Orlando Casanova Flores** y **Dr. Américo Guevara Pérez**, el trabajo final de carrera intitulado **“EFECTOS DE LA TEMPERATURA DE SECADO Y CONCENTRACION DE ENCAPSULANTE EN EL RENDIMIENTO Y CONTENIDO DE VITAMINA C DE JUGO DE *Myrciaria dubia* (CAMU-CAMU) ATOMIZADO”**, considerando que el mismo reúne los requisitos necesarios para ser presentado ante el Jurado Calificador y acceda obtener el Título Profesional de Ingeniero en Industrias Alimentarias.

**AUTORIZO:** Al citado Bachiller a presentar el Trabajo Final de Carrera, para proceder a su sustentación cumpliendo así la normativa vigente que regula los Grados y Títulos de la Facultad de Industrias alimentarias de la Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana.



.....  
**ING° MSc. EMILIO DIAZ SANGAMA**

**ASESOR**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA AMAZONÍA PERUANA**

**FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

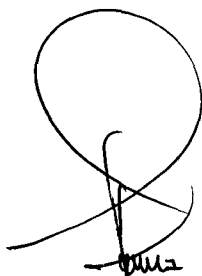
**ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERIA EN  
INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

**MIEMBROS DEL JURADO :**




ING° JORGE A. TORRES LUPERDI

**PRESIDENTE**



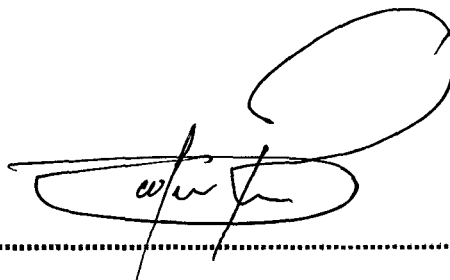
ING° MSc. CARLOS E. LÓPEZ PANDURO

**MIEMBRO TITULAR**



ING° MSc. ROGER RUÍZ PAREDES

**MIEMBRO TITULAR**



ING° WILDER PRADO MENDOZA

**MIEMBRO SUPLENTE**



**ACTA DE SUSTENTACIÓN**

En la ciudad de Iquitos, siendo las 6:00 p.m. horas del día martes 26 de junio del 2012, en el Departamento Académico de Ciencia y Tecnología de Alimentos de la Facultad de Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, ubicado en la calle Nauta 5ta. Cuadra de esta ciudad, se dio inicio a la sustentación pública del Trabajo Final de Carrera intitulado "EFECTOS DE LA TEMPERATURA DE SECADO Y CONCENTRACION DE ENCAPSULANTE EN EL RENDIMIENTO Y CONTENIDO DE VITAMINA C DE JUGO DE *Myrciaria dubia* (CAMU CAMU) ATOMIZADO", presentado por el Bachiller ROMULO AUGUSTO CASANOVA FLORES, con el asesoramiento del Ing. Mgr. Emilio Díaz Sangama.

Estando el Jurado Calificador conformado por los siguientes miembros, según Resolución Decanal Nº 094-FIA-UNAP-2011, del 18 de noviembre del 2011.

- |  |                  |
|--|------------------|
| Ing. JORGE AUGUSTO TORRES LUPERDI      | Presidente       |
| Ing. MSc. ROGER RUIZ PAREDES           | Miembro          |
| Ing. MSc. CARLOS ENRIQUE LOPEZ PANDURO | Miembro          |
| Ing. WILDER PRADO MENDOZA              | Miembro Suplente |

Siendo las 7:30 p.m. horas del mismo día, se dio por concluida la sustentación, habiendo sido APROBADO con la nota de 17 y el calificativo de MUY BUENO, estando el Bachiller apto para obtener el Título de Ingeniero en Industrias Alimentarias.

El Jurado Calificador hará llegar las correcciones que el sustentante haría, si el caso lo requiere.

ING. JORGE AUGUSTO TORRES LUPERDI  
Presidente

ING. MSc. ROGER RUIZ PAREDES  
Miembro Titular

ING. MSc. CARLOS ENRIQUE LOPEZ PANDURO  
Miembro Titular

ING. WILDER PRADO MENDOZA  
Miembro Suplente



## DEDICATORIA

A la **NATURALEZA** por ser musa inspiradora en la edificación de un mundo **equilibrado y sin clases excluyentes**.

A la memoria y al recuerdo inextinguible de mi padre **ORLANDO CASANOVA HELLER**, en cuya vida aprendí que **el mejor trabajo es el que realizamos por los demás** y su ejemplo de **dignidad y consecuencia**, ha sido la fuente motivadora para continuar en la espinosa lucha de construcción de un futuro mejor.

A mi adorada madre **PAULA FLORES RUMRRILL**, por su compañía, amor y confianza invariable durante la realización de mi formación profesional.

A mi querido hermano **ORLANDO**, por su incondicional respaldo personal y su inmejorable apoyo intelectual para la culminación de este trabajo de investigación.

A los camaradas de **AVANZADA ESTUDIANTIL UNIVERSITARIA**, por defender consecuentemente nuestros sueños, ideales y causas; así como por conservar intacta nuestra línea revolucionaria a nivel estudiantil, la misma que nos permitirá tomar la arcilla para forjar el **HOMBRE NUEVO** y labrar un mundo diferente, el **MUNDO SOCIALISTA**.

# **AGRADECIMIENTOS**

- A la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) a través de la Facultad de Industrias Alimentarias (FIA) por las facilidades brindadas en la realización del presente trabajo de investigación.
- A mi asesor Ing° Mg. Sc. Emilio Díaz Sangama, por el invaluable apoyo, amistad, orientación y aportes durante la realización y redacción del presente estudio.
- Al Dr. Américo Guevara Pérez por su inestimable respaldo profesional y estímulo valioso para los jóvenes investigadores.
- A todo el personal profesional, administrativo y técnico de la Planta Piloto de Procesamiento de Alimentos, Laboratorios de Físicoquímica, Instrumentación, Microbiología, Biotecnología de la UNALM.
- A mi colega y amiga Naomi Pezo Silvano por el inestimable impulso y contribución incondicional en la ejecución y culminación del presente trabajo de tesis.

# ÍNDICE

	<b>Pág.</b>
PORTADA .....	I
AUTORIZACION DEL ASESOR .....	II
JURADO CALIFICADOR .....	III
DEDICATORIA .....	IV
AGRADECIMIENTOS .....	V
ÍNDICE .....	VI
LISTA DE TABLAS .....	VIII
LISTA DE FIGURAS .....	X
RESUMEN .....	XI
I INTRODUCCIÓN .....	1
II OBJETIVOS .....	3
III REVISIÓN DE LITERATURA .....	5
3.1 CAMU-CAMU .....	6
3.2 ÁCIDO ASCORBICO .....	10
3.3 ANTOCIANINAS .....	13
3.4 CONSERVACIÓN POR CONTROL DE HÚMEDAD .....	14
3.5 ACTIVIDAD DE AGUA .....	15
3.6 SECADO POR ATOMIZACIÓN O SPRAY DRYING .....	16
3.7 AGENTES COADYUVANTES DEL SECADO .....	20
3.8 ANÁLISIS INSTRUMENTAL DEL CALOR .....	22
IV METODOLOGÍA .....	23
4.1 LUGAR DE EJECUCUION.....	24
4.2 MATERIALES Y EQUIPO.....	24
4.3 METODOS DE ANÁLISIS.....	25
4.4 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.....	26
V RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	36
5.1 RENDIMIENTO DEL CAMU-CAMU.....	37
5.2 CARACTERÍSTICAS FISICO-QUÍMICAS DEL JUGO DE CAMU-CAMU.....	37
5.3 ESTANDARIZADO Y HOMOGENIZADO.....	39
5.4 PROCESO DE SECADO POR ATOMIZACIÓN DEL JUGO DE CAMU-CAMU...	40
5.5 CARACTERIZACIÓN DEL PRODUCTO FINAL.....	56
VII CONCLUSIONES.....	60
VIII RECOMENDACIONES.....	62
IX REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	64



## LISTA DE TABLAS

- TABLA N° 1.** Características diferenciales entre especies de *Myrciaria dubia* y *Myrciaria* sp.....Pág. 7
- TABLA N° 2.** Principales componentes del epicarpio y mesocarpio (valores expresados en 100g de materia fresca)..... Pág. 8
- TABLA N° 3.** Composición físico-química de pulpa de camu-camu (expresado en 100g de materia fresca)..... Pág.8
- TABLA N° 4.** Contenido de ácido ascórbico, proteínas y carbohidratos (mg/100g) en pulpa de algunas frutas tropicales maduras.....Pág. 9
- TABLA N° 5.** Variables independientes naturales y codificadas consideradas para el diseño factorial.....Pág. 31
- TABLA N° 6.** Diseño factorial del proceso de secado ..... Pág. 32
- TABLA N° 7.** Rendimientos promedios del camu-camu ..... Pág. 37
- TABLA N° 8.** Características físico-químicas del jugo de camu-camu.....Pág. 38
- TABLA N° 9.** Características de las mezclas de jugo + maltodextrina para la atomización.....Pág. 39
- TABLA N° 10.** Rendimiento del secado obtenido y estimado por el diseño factorial.....Pág. 41
- TABLA N° 11.** Análisis de varianza (ANVA) de la regresión para el rendimiento de secado..... Pág. 41

<b>TABLA N° 12.</b> Prueba de significancia de los coeficientes de la ecuación de regresión lineal para el rendimiento del secado.....	Pág. 43
<b>TABLA N° 13.</b> Contenido de vitamina C obtenido y estimado por el diseño factorial.....	Pág. 46
<b>TABLA N° 14.</b> Análisis de varianza (ANVA) de la regresión para el contenido de vitamina C.....	Pág. 46
<b>TABLA N° 15.</b> Prueba de significancia de los coeficientes de la ecuación de regresión lineal para el contenido de vitamina C.....	Pág. 48
<b>TABLA N° 16.</b> Actividad de agua obtenida y estimada por el diseño factorial.....	Pág. 51
<b>TABLA N° 17.</b> Análisis de varianza (ANVA) de la regresión para la actividad de agua.....	Pág. 51
<b>TABLA N° 18.</b> Prueba de significancia de los coeficientes de la ecuación de regresión lineal para la actividad de agua.....	Pág. 53
<b>TABLA N° 19.</b> Parámetros de proceso y respuestas estimadas luego de la superposición de las curvas de contorno.....	Pág. 56
<b>TABLA N° 20.</b> Valores estimados y obtenidos para las respuestas en la región óptima .....	Pág. 56
<b>TABLA N° 21.</b> Características físico-químicas del camu-camu en polvo.....	Pág. 57
<b>TABLA N° 22.</b> Análisis microbiológico del camu-camu en polvo .....	Pág. 59

## LISTA DE FIGURAS

- FIGURA N° 1.** Esquema de un sistema de Spray Dryer.....Pág. 18
- FIGURA N° 2.** Flujo de operaciones para secar jugo de camu-camu por atomización.....Pág. 28
- FIGURA N° 3.** Spray Dryer utilizado en el secado del jugo de camu-camu.....Pág. 29
- FIGURA N° 4.** Esquema experimental del proceso de secado de jugo de camu-camu por atomización.....Pág. 30
- FIGURA N° 5.** Rendimiento del secado obtenido versus el rendimiento de secado estimado por el modelo de primer orden.....Pág. 42
- FIGURA N° 6.** Superficie de respuesta para el rendimiento de secado..Pág. 44
- FIGURA N° 7.** Curvas de contorno para el rendimiento de secado.....Pág. 45
- FIGURA N° 8.** Contenido de vitamina C obtenido versus el contenido de vitamina c estimado por el modelo de primer orden.....Pág. 47
- FIGURA N° 9.** Superficie de respuesta para el contenido de vitamina C.....Pág. 49
- FIGURA N° 10.** Curvas de contorno para el contenido de vitamina C.....Pág. 50
- FIGURA N° 11.** Resultado de la actividad de agua obtenida versus la actividad de agua estimada por el modelo de primer orden.....Pág. 52
- FIGURA N° 12.** Superficie de respuesta para la actividad de agua.....Pág. 53
- FIGURA N° 13.** Curvas de contorno para la actividad de agua.....Pág. 54
- FIGURA N° 14.** Superposición de las curvas de contorno de las respuestas.....Pág. 55

# **RESUMEN**

La investigación consistió en determinar los parámetros óptimos para el secado por atomización del jugo de camu-camu *Myrciaria dubia* (H.B.K. Mc Vaugh, 1958), aplicando el Método de Superficie de Respuesta.

Las variables estudiadas fueron la concentración de maltodextrina (%) y temperatura de entrada de aire (°C), sobre las cuales se aplicó un Diseño Factorial, donde se definió 07 puntos experimentales (4 puntos factoriales y 3 repeticiones en el punto central), evaluándose el rendimiento del secado (%), contenido de vitamina C (%) y actividad de agua. A partir de los valores obtenidos, se estimaron y validaron estadísticamente los correspondientes modelos polinomiales. El efecto de las variables en estudio sobre las características estudiadas fue analizado mediante gráficos de superficie de respuesta y curvas de contorno.

Para la determinación de los parámetros óptimos del secado por atomización del jugo de camu-camu, se utilizó el método de Superposición de Curvas de Contorno, teniendo en cuenta un rendimiento de secado mayor o igual al 63%, contenido de vitamina C mayor o igual a 7.2% y actividad de agua menor o igual a 0.258

Los parámetros óptimos para secar el jugo de camu-camu por atomización corresponden a un 15% de maltodextrina y 153°C de temperatura de entrada de aire. Bajo estas condiciones se obtuvo un rendimiento de secado de 65.121%, 7.397% de contenido de vitamina C (**70.99% de Retención de Vitamina C**) y 0.252 de actividad de agua.

Las características físico-químicas del camu-camu en polvo estableció una humedad de 2.08%, 1.64% de proteína, 0.06% de grasa, 0.61% de fibra, 1.00% de cenizas, 94.61% de carbohidratos, 15.02% de acidez (ácido cítrico), 32.47 de azúcares reductores y 7397.46 mg/100g de vitamina C. El camu-camu en polvo tuvo un mayor L\* (42.35) y menores valores de a\* (6.02) y b\* (2.32) en comparación a la materia prima inicial (jugo filtrado) y actividad de agua de 0.256.

Los reportes microbiológicos del camu-camu en polvo se encuentran dentro del rango óptimo exigido por las Normas ICMSF para frutas deshidratadas, numeración de aerobios mesófilos viables <10 UFC/g (**< 10<sup>5</sup> UFC/g**), Numeración de Mohos <10 UFC/g (**<10<sup>3</sup> UFC/g**) y Numeración de Levaduras <10 UFC/g (**<10<sup>2</sup> UFC/g**), que reflejan haber trabajado con materia prima de calidad, aplicando buenas prácticas de manufactura (BPM) y un proceso eficiente de secado por atomización (humedad residual baja), obteniendo finalmente un producto de buena calidad microbiológica.

# **I. INTRODUCCIÓN**

El camu-camu *Myrciaria dubia* (H.B.K. Mc Vaugh, 1958) especie nativa de la Amazonia, crece en forma silvestre en las orillas inundables de los ríos. Como especie semi-acuática posee una versatilidad que la convierte en una excelente alternativa económica, logrando permanecer debajo del agua durante periodos inundables bastante prolongados, así como también, acondicionarse en áreas bien drenadas y a suelos ácidos e infértiles, característicos de las zonas no inundables.

El camu-camu contiene diversos componentes que poseen propiedades medicinales y es considerado un poderoso antioxidante natural. Cabe señalar que los antioxidantes son sustancias que neutralizan radicales libres, evitando efectos dañinos como stress biológico o envejecimiento celular en los tejidos. Sin embargo; aunque el organismo produce una amplia gama de enzimas que actúan como antioxidantes, estos niveles van disminuyendo con la edad, haciendo necesario suplementar la dieta con productos naturales que contrarresten estos efectos.

En la agroindustria el camu-camu ha despertado gran interés por su alto contenido de ácido ascórbico, el que aumenta progresivamente hasta que la fruta esté semi-madura (madurez intermedia). Según Maeda *et al.* (2006), el camu-camu contiene 2585.40 mg Ácido Ascórbico / 100 g de pulpa, siendo 65 veces mayor que en el limón sutil (44.2 mg/100 g) y que cualquier fruto conocido.

Para el procesamiento del camu-camu es necesario desarrollar investigaciones que permitan obtener productos de calidad, económicas y que conserven sus bondades originales. Entre las diversas tecnologías disponibles, el secado por atomización se presenta como alternativa para su procesamiento, permitiendo una deshidratación muy rápida debido al corto tiempo empleado sin que el producto aumente sensiblemente de temperatura, minimizando el daño térmico y conservando casi intacto su valor nutritivo, características organolépticas y propiedades funcionales.

## **II. OBJETIVOS**



## **OBJETIVO GENERAL**

- Determinar los parámetros del proceso de secado por atomización del jugo de camu-camu, aplicando el método de superficie de respuesta.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Caracterizar el producto final: Análisis proximal, pH, sólidos solubles, sólidos totales, acidez, azúcares reproductores, contenido de vitamina C (%) y parámetros de color (L\*, A\*, B\*).
- Análisis microbiológico: Recuento anaeróbicos mesófilos viables, mohos y levaduras

### **III. REVISIÓN DE LITERATURA**

### 3.1. CAMU-CAMU

#### 3.1.1. ORIGEN Y DISTRIBUCION GEOGRAFICA

El camu-camu crece en forma natural en los márgenes de los ríos y lagos de la Amazonía Peruana y Brasileira, pero la distribución natural en mayor concentración se encuentra en la peruana. De acuerdo al FIEAM (2001), la producción en el Brasil se distribuye por la región central del estado de Pará (ríos Tocantins y Trombetas), estados de Amazonas (Manacapurá y en los ríos Yavari, Madeira, Negro y Xingú), Rondonia (Aranquimes y Ji-Paraná, en los ríos Macangana y Urupé, respectivamente) y Romaina (en los márgenes de las lagunas naturales junto al río Cauamé); mientras que en Venezuela en la parte superior del Río Orinoco (Villachica, 1996; Chávez, 1993; citados por Dib Taxi, 2001).

En el Perú, el aprovechamiento se extiende a lo largo de los ríos Ucayali y Amazonas, con sus afluentes que van desde Pucallpa (río Ucayali), Pevás (río Amazonas) encontrándose en mayor concentración en Jenaro Herrera - Lago Supay (río Ucayali) y Nanay (Alto Amazonas) (Chávez *et al.*, 2001)

#### 3.1.2. CLASIFICACION TAXONOMICA

El camu-camu taxonómicamente se ubica de la siguiente manera:

Reino	:	Plantae
División	:	Magnoliophyta
Clase	:	Magnoliopsida
Sub-clase	:	Rosidae
Orden	:	Myrtales
Familia	:	Myrtaceae
Género	:	Myrciaria
Especie	:	<i>M. dubia</i>
Nombre binomial:		<i>Myrciaria dubia</i> (H.B.K. Mc Vaugh, 1958)

Fuente: IIAP (2001)

### 3.1.3. DESCRIPCIÓN BOTÁNICA

El camu-camu es uno de los frutos nativos de la gran diversidad amazónica, pertenece a la familia de las Myrtaceas, genero *Myrciaria*. Este género no es muy conocido y poco se ha estudiado sobre su taxonomía. Mc Vaugh, fue el primero en clasificar al camu-camu como *Myrciaria dubia* (H.B.K Mc Vaugh, 1958) y como *Myrciaria paraensis* Berg (1963), como resultado se tendió a adoptar la primera denominación (Ruiz, 1969).

Existen dos tipos de camu-camu: el arbustivo y el arbóreo. El arbustivo es el más difundido en la región amazónica, tiene generalmente hasta 4m de altura pudiendo alcanzar 8m, crece en los márgenes de los ríos y lagos de aguas oscuras puede permanecer cubierto por agua por hasta cinco meses en el año. El arbóreo generalmente es encontrado en los pantanos de aguas quietas con mal drenaje (zonas inundable y no inundable).

Villachica (1996), menciona que la especie arbórea (*Myrciaria* sp.) presenta un contenido de vitamina C inferior al de la *Myrciaria dubia*, además de otras características como el color del fruto más intenso (rojo-marrón) y tamaño mayor (encima de 23 g) como se puede observar en la Tabla N° 1.

**TABLA N° 1. CARACTERÍSTICAS DIFERENCIALES ENTRE ESPECIES DE *Myrciaria dubia* y *Myrciaria* sp.**

CARACTERÍSTICA	<i>Myrciaria dubia</i>	<i>Myrciaria</i> sp.
Porte de planta	Arbusto	Árbol
Época de cosecha	Diciembre-Marzo	Marzo-Mayo
Peso del fruto	10 - 20g	23 - 40g
Color del fruto	Rojo intenso a morado	Morado a marrón
Cáscara del fruto	Apergaminada	Semi-leñosa
Color de la semilla	Amarillenta	Rosada
Tamaño de semilla	Pequeña	Grande
Forma de la semilla	Chata, reniforme	Ovalada, dura
Semillas por fruto	1 - 4	1 - 2
Contenido de Ac. ascórbico	Alto	Medio
Altura	Hasta 8m	Hasta 13 m

Fuente: Villachica (1996)

### 3.1.4. CARACTERIZACION FISICA, FISICO-QUIMICA y QUIMICA

En la Tabla N° 2 se muestra los principales componentes del fruto (Epicarpio y mesocarpio), tales como la humedad, ácido ascórbico, compuestos fenólicos, antocianinas y flavonoides.

**TABLA N° 2. PRINCIPALES COMPONENTES DEL EPICARPIO Y MESOCARPIO (VALORES EXPRESADOS EN 100g DE MATERIA FRESCA).**

CARACTERISTICA	EPICARPIO	MESOCARPIO
Humedad (g/100 g)	88.26 ± 0.27	93.45± 0.27
Ácido ascórbico (mg/100 g)*	3,092.62 ± 35.11	1,640.57± 8.28
Ácido ascórbico (mg/100 g)**	3,064.01± 70.31	1,637.16± 12.87
Compuestos fenólicos (mg/100 g)	1,344.72 ± 118.76	553.58 ± 5.10
Antocianinas (mg/100 g)	181.38 ± 10.78	0.14 ± 0.01
Flavonoides (mg/100 g)	143.27± 8.08	0.40 ± 0.02

\*Frutos al natural      \*\*Frutos blanqueados

Fuente: Maeda *et al.* (2006)

En la Tabla N° 3 se observa la composición físico-química del camu-camu. En donde se muestra un incremento de vitamina C en la pulpa por la migración de este componente debido al pulpeado.

**TABLA N° 3. COMPOSICIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE PULPA DE CAMU-CAMU (EXPRESADO EN 100g DE MATERIA FRESCA).**

COMPONENTES	Media±DP	COMPONENTES	Media±DP
Humedad (g/100 g)	92.65±0.03	Sólidos solubles (°Brix)	6.2±0.00
Lípidos (g/100 g)	0.05±0.01	Acidez (g/100 g)	3.4±0.06
Proteína (g/100 g)	0.29±0.00	Ácido ascórbico (mg/100 g)	2585.4±8.41
Azúcares reductores (g/100 g)	2.96±0.00	Compuestos fenólicos (mg/100 g)	861.7±64.13
Azúcares totales (g/100 g)	4.47±0.03	Antocianinas (mg/100 g)	9.98±0.19
pH	2.64±0.01	Flavonoides (mg/100 g)	6.53 ±0.30

Fuente: Maeda *et al.* (2006)

La distribución de la vitamina C en los alimentos se conoce mucho mejor que las otras vitaminas debido a que su determinación es mucho más fácil que la de cualquier otra. Las fuentes más importantes son las frutas, con grandes variaciones entre las diferentes especies.

En la Tabla N° 4, se presenta un listado de frutas con fines de comparación respecto al contenido de ácido ascórbico, proteínas y carbohidratos del camu-camu. Se aprecia que el camu-camu sobrepasa largamente el contenido de ácido ascórbico a las otras frutas tropicales conocidas por su alta concentración en este nutriente. El contenido de ácido ascórbico en la pulpa de camu-camu es el doble que el de la acerola y llega hasta 60 veces superior al jugo de limón. En cambio, el contenido de proteínas es similar mientras que el de carbohidratos es parecido o menor (Villachica, 1996).

**TABLA N° 4. CONTENIDO DE ÁCIDO ASCÓRBICO, PROTEÍNAS Y CARBOHIDRATOS (mg/100g) EN PULPA DE ALGUNAS FRUTAS TROPICALES MADURAS.**

<b>FRUTA</b>	<b>Ácido ascórbico (mg/100 g)</b>	<b>Proteína (%)</b>	<b>Carbohidratos (%)</b>
Piña	20	0.4	9.8
Maracuyá (jugo)	22	0.9	15.8
Fresa	42	0.7	8.9
Limón (jugo)	44	0.5	9.7
Guayaba	60	0.5	14.9
Naranja ácida	92	0.6	10.1
Acerola (total)	1,300	0.7	6.9
camu-camu	2,780	0.5	5.9

**Fuente: Villachica (1996)**

### **3.1.5. PIGMENTOS EN EL CAMU-CAMU**

El color del camu-camu es uno de los atributos de calidad que más atraen al consumidor siendo, muchas veces, decisiva en la compra de éste y se constituye como indicador relevante para evaluar si las condiciones de almacenamiento están garantizando su calidad (Francis, 1983).

El camu-camu es uno de los frutos que tiene sus pigmentos en la cáscara. En algunos otros, la síntesis de los pigmentos requiere calidad e intensidad de luz, sufriendo también influencia de la temperatura. La fotosíntesis es el metabolismo de los carbohidratos y controlan la síntesis de las antocianinas y flavonoides (Chitarra & Chitarra, 1990).

Los principales pigmentos del camu-camu son las antocianinas y estos son responsables de la coloración rojo – púrpura presentándose en el fruto maduro y su contenido puede estar aproximadamente entre 9 – 181 mg /100g, tal como se mostró en los Cuadros N° 2 y 3. Así mismo, Zanatta (2004) determinó la composición de antocianinas del camu-camu por HPLC-DAD, separó e identificó 9 antocianinas, siendo la cianidina-3-glucósido la mayoritaria (88% del total) y luego aparece la delphinidina-3-glucósido que contribuyó con 4 – 5% del total de las antocianinas. El contenido total de antocianinas varió de 30.1 – 56.4 mg/100g en los frutos.

Los carotenoides también están presentes en bajos contenidos, inferiores a 0.2 mg/100g, en el fruto maduro (Andrade *et al.*, 1994). En tal sentido, Zanatta *et al.* (2007) separó por HPLC-DAD 46 carotenoides del camu-camu, logrando identificar solamente 43, siendo el  $\alpha$ -*trans*-luteína el carotenoide principal encontrado y luego aparecen  $\beta$ -caroteno, violaxantina y luteoxantina. El contenido total de carotenoides varió de  $363.4 \pm 217.4$  a  $1,096.4 \pm 198.0$   $\mu$ g/100g.

## **3.2. ACIDO ASCORBICO**

### **3.2.1. CARACTERISTICAS Y ESTRUCTURA**

Fennema (2000), reporta que la vitamina C es una sustancia muy soluble en agua que posee a la vez propiedades ácidas y fuertemente reductoras, estas características se deben a su estructura de enodiol, que se halla conjugada con el grupo carbonilo del anillo de lactona.

El ácido ascórbico es la forma reducida de vitamina C, se oxida reversiblemente a L-ácido dehidroascórbico cuando es expuesta al cobre, calor o pH ligeramente alcalino. El L-ácido ascórbico y L-ácido dehidroascórbico son fisiológicamente formas activas de vitamina C. La oxidación del L-ácido dehidroascórbico a ácido 2,3-diceto-L-gulónico y oxalato es irreversible (Hornig *et al.*, 2006), de allí que se debe tener mucho cuidado con su conservación.

La vitamina C (ácido ascórbico) es un importante antioxidante en el plasma humano. Es evidente, sin embargo, que el ácido ascórbico tiene otras importantes funciones no antioxidantes en las células, de particular interés es su participación en el metabolismo del hierro, ya que la dieta con ácido ascórbico aumenta la absorción de hierro, aumenta la actividad dependiente de  $Fe^{2+}$  de las enzimas celulares. Además el incremento de Ácido Ascórbico aumenta los niveles de hierro intracelular catalítico y concomitantemente modula la expresión de dos genes regulados por hierro, tales como receptores de ferritina y transferrina. La vitamina C también parece funcionar como un amortiguador frente a daños celulares de los radicales libres que se consideran importantes en una serie de procesos de enfermedades (Walingo, 2005).

Manela - Azulay *et al.*, (2003), menciona que la dosis recomendada para la mantención del nivel de saturación de la vitamina C en el organismo es de cerca de 100 mg por día. Las mejores fuentes de vitamina C son las frutas frescas particularmente frutas cítricas, tomates, pimiento verde y combinándolas con papa asada y verduras. Algunas frutas, como camu-camu, acerola, marañón, guayaba, grosella negra, también son ricas en vitamina C (Bueno *et al.*, 2002), por lo que deben ser incluidas en la dieta.

### **3.2.2. DEGRADACION QUIMICA DE LA VITAMINA C**

Fennema (2000), señala que el ácido ascórbico es soluble en agua, se pierde fácilmente por lixiviación en las superficies cortadas o trituradas de los alimentos. Sin embargo en los alimentos elaborados, las pérdidas más importantes después de la manipulación se deben a la degradación química. En los alimentos ricos en vitamina C, como las frutas, generalmente la pérdida va asociada al pardeamiento no enzimático.

Primo (1997), indica que en presencia de aire (oxígeno molecular) la degradación de la Vitamina C tiene lugar, principalmente por la formación de ácido dehidroascórbico (DHAA), menos estable. EL DHAA, una vez formado, experimenta una serie de reacciones irreversibles de apertura del anillo que conducen a la formación de ácido 2,3-diceto L-gulónico (DKGA), el cual no presenta actividad vitamínica y que continúa reaccionando hasta llegar a formar polímeros pardos.

Coultate (1990), menciona que la oxidación es bastante rápida a elevadas temperaturas, incluso en ausencia de catalizador. La formación de DKGA es



prácticamente instantánea a pH alcalino, rápida a pH neutro y lenta en condiciones ácidas. Asimismo, reporta que en la elaboración de zumos de frutas la acidez asegura la estabilidad de la vitamina C. Asimismo, Braverman (1986) manifiesta que la oxidación del ácido ascórbico también es catalizada por una enzima específica, la ascorbinasa (ácido ascórbico oxidasa) y que la primera fase de la oxidación de la vitamina C en los alimentos tales como los jugos de frutas implica la formación de peróxido de hidrogeno. Sin embargo, incluso en condiciones totalmente anaeróbicas y después de la inactivación completa de la ascorbinasa, la autooxidación del ácido ascórbico se realiza lentamente.

### **3.2.3. ESTABILIDAD DE LA VITAMINA C EN LOS ALIMENTOS**

Según Fennema (2000), los factores capaces de influir sobre la naturaleza del mecanismo de degradación son: la temperatura, concentración de sal, azúcar, pH, oxígeno, enzimas, catalizadores metálicos, aminoácidos oxidantes o reductores, concentración inicial de ácido ascórbico y relación ácido ascórbico/ácido dehidroascórbico.

Badui (2006), menciona que de todas las vitaminas, la C es la más lábil e inestable y puede ser degradada a través de muchas vías: las de oxidación y degradación térmica son las más importantes. Debido a la alta sensibilidad de la vitamina C al calor, algunos investigadores propusieron usar el contenido residual de esta vitamina como índice de retención de nutrientes, en el cual se considera, que si el ácido ascórbico resiste los tratamientos térmicos durante el procesamiento de alimentos, todos los demás nutrimentos serán poco afectados.

En los jugos deshidratados, la degradación del ácido ascórbico depende únicamente de la temperatura y la humedad. Además, aunque por lo general, la estabilidad del ácido ascórbico aumenta a medida que disminuye la temperatura del alimento, diversas investigaciones señalan la posibilidad de que se produzca pérdida acelerada por congelación o almacenamiento en frío. Se ha demostrado que esto es improbable para la mayoría de alimentos, aunque temperaturas de almacenamiento superiores a -18 °C pueden, finalmente ocasionar considerables pérdidas (Fennema, 2000).

Dennison & Kirk (1978), estudiaron la degradación del ácido ascórbico en un sistema modelo de alimento deshidratado, considerándose en el estudio la reducción

de la estabilidad del ácido ascórbico total como una función de la actividad de agua, contenido de humedad, oxígeno y temperatura de almacenamiento, en el cual determinaron que para todas las condiciones de almacenamiento, la velocidad de destrucción del ácido ascórbico respondió a una función cinética de primer orden:

$$\frac{dC}{dt} = K \cdot C^n \quad (1)$$

Asimismo, determinaron que la velocidad de destrucción del ácido ascórbico es dependiente de la actividad de agua (principalmente), contenido de humedad y temperatura de almacenamiento, al ser almacenados en contenedores sin espacio de cabeza. La velocidad de destrucción del ácido ascórbico se incrementó dramáticamente debido a la presencia de oxígeno.

### 3.3. ANTOCIANINAS

Las antocianinas son un grupo de pigmentos con características químicas de glucósidos. Generalmente, son de color rojo y violeta, solubles en agua y están ampliamente distribuidas en la naturaleza, formadas por una molécula de antocianidina (aglucona) que se une a una fracción de los carbohidratos a través de un enlace  $\beta$ -glicosídico (Badui, 2006).

#### 3.3.1. ESTABILIDAD DE LAS ANTOCIANINAS EN LOS ALIMENTOS

Las antocianinas son poco estables y resisten mal a los diversos tratamientos tecnológicos; es aún más inestable cuando al hidrolizarse originan un azúcar y un aglucono llamado antocianidina (Charley, 1999).

Fennema (2000), destaca que el catión flavilio de los pigmentos antociánicos es deficiente en electrones y, por lo tanto muy reactivo. Las reacciones implican por lo general, la decoloración de los pigmentos. La proporción de antocianinas destruidas depende del pH, siendo mayor cuanto más elevado es éste. En este sentido, Jackman & Smith (1992), mencionan que las antocianinas son más estables en condiciones ácidas, sin embargo, se pueden degradar por cualquier mecanismo que llevan a la formación de compuestos menos coloridos, compuestos oscuros y/o insolubles. Así mismo, Maeda *et al.* (2007), refieren que esta degradación puede ocurrir durante el procesamiento y/o almacenamiento del alimento.

Jackman & Smith (1992), mencionan que los principales factores que influyen la estabilidad de estos pigmentos son: pH, temperatura, presencia de oxígeno y enzimas, además de la interacción con otros componentes del alimento: ácido ascórbico, iones metálicos, azúcares y co-pigmentos. En tal sentido, Fennema (2000) indican que muchos investigadores han estudiado la reacción de las antocianinas con el ácido ascórbico, en el cual se produce una reacción que desencadena la degradación de ambos compuestos. Aún no está completamente esclarecido el mecanismo de esta reacción pero tal vez comparte un peróxido intermediario, producido por la degradación del ácido ascórbico. La acelerada decoloración de las antocianinas puede ser causada por reacciones de condensación con los compuestos antes mencionados. Los polímeros y los compuestos de degradación producidos por estas reacciones probablemente son muy complejos. Algunos de estos productos de reacción forman los compuestos denominados flobafenos, que son de color rojo pardo.

### **3.4. CONSERVACION POR CONTROL DE HUMEDAD**

Schuler & Schuler (1973), citados por Dib Taxi (2001), mencionan que el secado fue uno de los primeros métodos de preservación de los alimentos utilizados por el hombre. Las ventajas de su uso son diversas: reducción de peso y volumen de producto, el que es muy importante en la disminución de los costos de transporte, embalaje y almacenamiento; con la disminución de la actividad de agua se prolonga la vida útil del producto, pues se crean condiciones adversas para la multiplicación de los microorganismos e desenvolvimiento de reacciones enzimáticas.

Para Casp & Abril (1999), el secado es un procedimiento de conservación que al eliminar la totalidad del agua libre de un alimento, impide toda actividad microbiana y reduce la actividad enzimática. Además, con el secado de un producto se consigue un incremento de las posibilidades de conservación y una gran reducción de peso hasta la quinta parte cuando se trata de raíces o tubérculos y hasta quince veces menor en frutas y vegetales de hoja. La presencia de agua en los alimentos contribuye de forma importante a su deterioro, por tanto la disminución del contenido de agua reduce a posibilidad de alteración biológica y también, de forma apreciable, las velocidades de otros mecanismos de deterioro.

La eliminación de agua presenta dos problemas importantes, por una parte el riesgo de alteración de la calidad nutricional y sobre todo organoléptica del producto tratado y por otra, un consumo notable de energía. La falta de selectividad de la eliminación de agua puede producir pérdidas de aromas, más volátiles que el agua, sobre todo si se realiza al vacío (Casp y Abril, 1999). La remoción total o parcial de agua del alimento es el principio del método de conservación por el control de humedad. En tal sentido, Camargo *et al.* (1984), mencionan que la eliminación del agua puede ser efectuada de varias maneras: secado natural, solar, por uso de azúcar y por secado artificial o deshidratación.

Travaglini *et al.* (1999), reportaron que los secadores más utilizados industrialmente son: secadores de bandejas, secadores neumáticos (*flash dryers*) y los de torre de secado por atomización (*spray dryers*), secadores de lecho fluidizado, secadores de cilindro rotativo, secadores al vacío y los secadores por microondas. Los factores condicionantes para la selección del tipo de secador a ser utilizado son: la naturaleza del producto, las condiciones de operación y factores económicos.

### 3.5. ACTIVIDAD DE AGUA

Casp y Abril (1999), mencionan que la actividad de agua es el agua contenida en un alimento, sea de origen animal o vegetal, está más o menos "disponible" para participar en las reacciones físicas, químicas y microbiológicas. Esta "disponibilidad" varía de un producto a otro según su composición, algunas estructuras o moléculas retienen más agua que otras; varía incluso para el mismo producto, un fruto maduro no se comporta de la misma forma que un fruto verde.

La mejor forma de expresar esta "disponibilidad", es decir el "grado de libertad" del agua de un producto, es la relación entre la presión parcial de agua en el alimento ( $p$ ) y la presión de vapor del agua pura ( $p_0$ ) a la misma temperatura.

La relación

$$a_w = \frac{p}{p_0} = \frac{\%HRE}{100} \quad (2)$$

Donde  $A_w$  es la *actividad de agua* en el producto y su relación con la humedad relativa de equilibrio (%HRE) del medio. El efecto de la actividad de agua se ha estudiado no sólo para definir la estabilidad microbiológica del producto sino también

por su influencia en las reacciones bioquímicas que se producen en el sistema y su relación con la estabilidad del alimento.

Singh & Heldman (1997), mencionan que la actividad de agua de un producto es siempre inferior a 1, esto significa que los constituyentes del producto fijan parcialmente el agua disminuyendo así su capacidad de vaporizarse. Se habla entonces de agua ligada, más o menos fijada al producto por adsorción. Un producto alimentario contiene en general simultáneamente varias formas de agua: agua libre, agua débilmente ligada y agua fuertemente ligada, estas últimas están retenidas a las moléculas de materia seca por fuerzas relativamente importantes. La proporción de agua más o menos adsorbida depende de cada producto. En los productos más hidratados tales como la mayoría de frutas y hortalizas, una parte importante del agua está bajo forma de agua libre y de agua débilmente adsorbida, retenida por capilaridad en los tejidos del producto. En los productos más secos, como la mayoría de los cereales, según su textura y su composición química, una parte importante del agua estará fuertemente adsorbida por el producto.

### **3.6. SECADO POR ATOMIZACION O SPRAY DRYING**

#### **3.6.1. PROCESO DE SECADO POR ATOMIZACION**

En el proceso de remoción de agua por atomización, el material a ser deshidratado sufre nebulización. Las gotículas formadas, pueden tener un diámetro promedio entre 10 a 200 $\mu$ , presentan una superficie específica grande favoreciendo el secado. En el interior de cámara se hace circular aire a elevadas temperaturas, lo que ocasiona una vaporización de la porción líquida de forma casi instantánea (1 a 10 segundos). Se debe recordar que la mayor parte del secado es hecha sobre una tasa de evaporación constante; esto hace que la temperatura del producto sea relativamente baja. Luego las partículas tienen que ser nebulizadas e secas, ocurre que quedan las partículas sólidas remanentes en el fondo de la cámara; el producto resultante es un producto seco, en forma de polvo (Travaglini *et al.*, 1999).

Sharma *et al.* (2003), mencionan que los materiales de la alimentación se hallan por lo general en forma de solución líquida, capaz de ser dispersada en forma de rocío. El fluido es atomizado o dispersado como gotitas finas que se ponen en contacto inmediato con el flujo de aire caliente. Estas gotitas proporcionan una extensa área superficial para la transferencia de calor y masa. Por lo tanto, el enfriamiento por

evaporación y el tiempo de residencia son cortos y mantienen una temperatura baja en el producto. Esto hace al secado por aspersion sea ideal para secar sustancias termolábiles como enzimas, plasma sanguíneo y proteínas de leche. Básicamente, las pérdidas de calor sensible a partir de aire caliente proporcionan el calor latente para evaporar el líquido del producto. El secado por atomización incluye cuatro fases críticas: atomización, mezcla gotitas-aire, evaporación y recuperación de producto secado.

Heldman & Lund (2007), refieren que en el secado por atomización los alimentos son transformados de líquidos bombeables a polvo seco. El líquido se bombea a través de una boquilla donde es atomizado. Las gotas se secan por aire caliente, ya que corresponden a la parte inferior de la cámara. El secado por atomización es especialmente ventajoso para los productos sensibles al calor, porque las partículas nunca son sometidas a una temperatura superior a la temperatura de bulbo húmedo del aire de secado y su tiempo de residencia es corto, generalmente entre tres y treinta segundos. El secado por aspersion es de fácil operación dividido en tres procesos distintos: la atomización, secado a través del contacto entre las gotitas-aire caliente y la recuperación del producto por la separación del secado del aire. La configuración del secador y las propiedades de la materia prima determinan las condiciones de operación necesarios para proporcionar una alta calidad al producto.

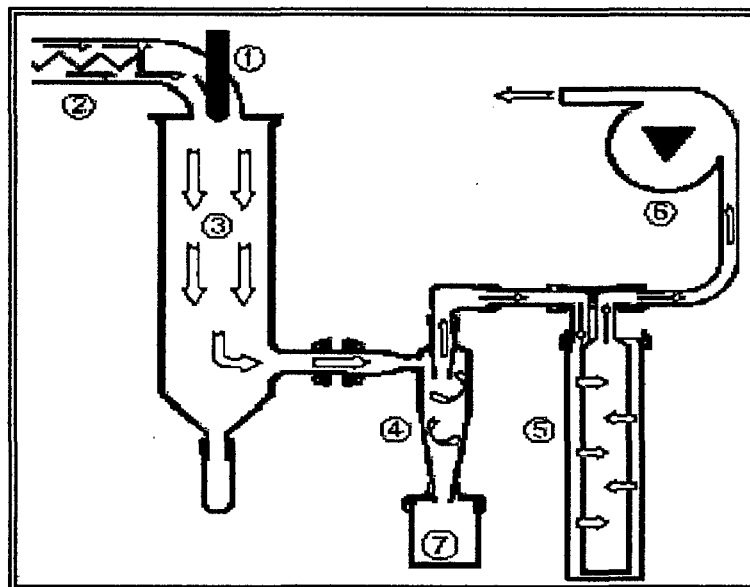
Sharma *et al.* (2003), infieren que la atomización es el paso crítico inicial y logra a través de una boquilla de aspersion a presión, disco rotatorio o boquilla neumática incompleta. En tal sentido; Heldman & Lund (2007), mencionan que el tipo de atomizador es importante porque determina la energía necesaria para formar el spray, el tamaño y la distribución de las gotitas, área de transferencia de calor, velocidad de secado, velocidad y trayectoria de la gota y el tamaño del producto final. El contacto con el aire que seca y las gotitas del rociado se llevan a cabo en co-corriente, contracorriente o combinado como sistema mixto de flujo.

En la recuperación de producto se utilizan ampliamente los ciclones ya que son muy eficientes, requieren poco mantenimiento y se limpien con facilidad. Un ciclón es una cámara cónica en la que una mezcla de aire y producto entran tangencialmente a alta velocidad haciendo que la mezcla gire. El aire más ligero se mueve hacia el centro y sale por la parte superior (Sharma *et al.*, 2003). Asimismo; Heldman & Lund (2007), señalan que hay muchas maneras de recoger el producto secado. Si el producto es separado desde el aire en la parte inferior de la cámara cónica, es continuamente

removido a través de una válvula rotativa o tornillo transportador. Es común para la mayor parte de productos que siguen siendo arrastrados en la corriente de aire; ciclones, seguido de filtros de bolsa o depuradores húmedos, son utilizados para recuperar el producto, siendo la eficiencia de un ciclón de 98 a 99%.

Valgas (2007), menciona que un sistema de Spray Dryer puede ser explicado siguiendo el esquema presentado en la Figura N° 1. Por un sistema de bombeado, la suspensión es aspirada hasta la parte superior, siendo calentada (2) hasta una temperatura (de entrada o "INLET"), apropiada para atomización. A través de una boquilla (o boquilla de aspersión) (1) con salida para los dos fluidos, la suspensión y el gas (aire o N<sub>2</sub>) son inyectados al mismo tiempo en la cámara de secado (3). El proceso de atomización es iniciado cuando la masa líquida, sobre efecto de compresión del gas, es goteada por el pequeño orificio de la boquilla y es secada por el efecto de la temperatura. Debido a un sistema de succión (6), el polvo atomizado pasa por un reservorio donde el gas se mueve de forma circular, formando un ciclón (4), que sirve para separar partículas finas de los aglomerados. Los aglomerados, más pesados, se depositan por gravedad en el colector de producto (7), y los finos siguen el flujo de succión hasta que quedan retenidos en un filtro (5).

**FIGURA N° 1. ESQUEMA DE UN SISTEMA DE SPRAY DRYER.**



(1) boquilla para dos fluidos; (2) sistema de calentamiento de la suspensión; (3) cámara de secado; (4) ciclón para separación de partículas; (5) filtro de remoción de las partículas finas; (6) aspirador para generación de flujo; (7) colector de producto.

**Fuente: Valgas (2007)**

### **3.6.2. PARAMETROS QUE INFLUENCIAN EL PROCESO DE SECADO**

La atomización es resultante de la aplicación de una energía, en forma de agitación sobre el líquido, hasta el punto que ocurre su rompimiento y desintegración creando un *spray* de gotículas. Esta nube o *spray*, entra en contacto con el aire caliente a elevadas temperaturas, donde ocurre el secado, resultando en la colecta del producto en polvo. Existen diferentes técnicas de atomización concebidas a partir de diferentes formas de energía aplicadas sobre el líquido, siendo común en todos los atomizadores el uso de energía para lograr el *spray*. La clasificación de los atomizadores está relacionada a las energías centrífuga, debido a la presión y cinética. Existen también los ultrasónicos y vibratorios, pero, son menos comunes.

Sharma *et al.* (2003), infieren que las variables que influyen el secado por atomización son: Variaciones en la concentración de sólidos en la alimentación, gasto de producto, temperatura de entrada de aire y gasto de aire.

### **3.6.3. USO DE LOS SECADORES POR ATOMIZACION EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA**

Sharma *et al.* (2003), mencionan que el secado por atomización se utiliza en una amplia gama de aplicaciones, desde productos farmacéuticos hasta alimentos y detergentes. En tal sentido; Heldman y Lund (2007), señalan que cada tipo de producto alimenticio secado por atomización, tiene su propio conjunto de desafíos. Por ejemplo, saborizantes de alimentos deben ser combinados con gomas y carbohidratos comestibles antes de su secado para evitar pérdidas de componentes volátiles.

### **3.6.4. FACTORES DE CALIDAD DE LOS ALIMENTOS**

La retención de compuestos volátiles es un problema para la mayoría de los productos alimenticios secados por atomización. La pérdida de los materiales volátiles es minimizado por el aumento de diámetro de las partículas, disminuyendo la temperatura de alimentación (disminuye el coeficiente de difusión de la fase líquida), y la disminución de la temperatura del aire (minimizar la expansión de partículas). La Degradación térmica podría ser un problema para las gotitas que se mantengan en la parte caliente del atomizador durante demasiado tiempo. Si la tasa de caída y tiempo son muy largos y las gotitas permanecen a una temperatura más alta por mucho tiempo, la degradación térmica es más probable. Pruebas experimentales seguidas



por una optimización es el mejor enfoque para evitar la disminución de la calidad de los productos (Heldman y Lund, 2007).

### **3.7. AGENTES COADYUVANTES DEL SECADO**

Los alimentos pueden ser protegidos de la pérdida de sustancias volátiles o de reacciones con otros ingredientes al ser encapsulados con materiales protectores comestibles. Esto puede ser realizado por un atomizado con materiales emulsificantes tales como gelatina, maltodextrina, goma arábica y otros materiales comestibles, para formar una capa protectora delgada alrededor de cada partícula del alimento, a la cual se denomina micro encapsulación (Potter & Hotchkiss, 1998).

Las materias primas ricas en azúcares y ácidos de bajo peso molecular ( $\downarrow$ PM), como los jugos de frutas, son difíciles de atomizar, pues producen polvos muy higroscópicos, susceptibles a la aglomeración y problemas de fluidez. A las temperaturas de trabajo del secado por atomización, tales compuestos tienden a presentar problemas de adhesión a las paredes de la cámara de secado, luego de cohesión (adhesión de las partículas entre sí), pudiendo producir un producto pastoso en vez de un polvo (Roos, 1995, Bhandari *et al.*, 1997). Como consecuencia, puede comprometerse la estabilidad del producto, reducción del rendimiento del proceso (debido a la adhesión en las paredes del secador), pudiendo causar problemas operacionales en el equipo (Bhandari *et al.*, 1997). Esta alta higroscopicidad es explicada por el hecho de que los azúcares y ácidos de bajo peso molecular ( $\downarrow$ PM) tienen bajas temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ), tornándose pegajosas a la temperatura de secado (Dolinsky *et al.*, 2000; Bhandari & Hartel, 2005).

Fennema (2000), manifiesta que la utilización de hidrocoloides es para proporcionar características texturales, estructurales y funcionales a los alimentos. Pero la elección del material de cubierta (encapsulante) dependerá del método de encapsulado a emplear y del modo de liberación o salida deseada. El requisito básico es que sea comestible y no tóxico. En tal sentido; Sotomayor (2000), señala que el encapsulante debe ser inerte respecto al material encapsulado, así como a otros materiales alimenticios.

Al respecto Fennema (2000), señala que la goma arábica, por su fácil y rápida solubilidad en agua, facilita la reconstitución de los productos deshidratados y de concentrados de aromas; la propiedad de suspender y estabilizar emulsiones, se debe

a la formación de una envoltura del coloide protector alrededor de las gotitas del producto, protegiéndolos de la humedad, la pérdida por evaporación y la oxidación química. Sin embargo su principal desventaja está en el costo, asociado a la baja disponibilidad y limitaciones en la protección contra la oxidación (Inglett *et al.*, 1988). La goma arábica ha sido históricamente utilizada como material de pared, pero debido a las fluctuaciones en el mercado y aumento en los costos, otros materiales han sido examinados para sustitución en los procesos de microencapsulación por spray drying.

Los almidones tienen la capacidad de capturar moléculas de aromas, produciendo complejos bastante estables (Solms, 1986; citado por Shahidi & Han, 1993). En tal sentido, se utilizan almidones hidrofílicos, de modo que el almidón hidrolizado no ofrece propiedades emulsificantes a los ingredientes encapsulados. Para que un almidón pueda actuar como emulsificantes, éste debe tener grupos hidrofílicos e lipofílicos. Los almidones modificados usualmente adoptados en la encapsulación de alimentos fueron químicamente modificados, de forma a incorporar grupos lipofílicos en sus moléculas (Shahidi & Han, 1993).

Inglett *et al.* (1988) y Reineccius (1991), mencionan que los almidones modificados han mostrado una excelente retención de compuestos volátiles durante el secado, luego de proporcionar una óptima estabilidad en la emulsión. Por eso, ejercen baja protección contra la oxidación durante el almacenamiento. En este sentido, King & Perry (1976) mencionan que los almidones modificados tienen la capacidad para formar mezclas con baja consistencia evitando la aglomeración y formación de película antes del secado por atomización.

La FDA (Food and Drug Administration) estableció la fórmula de las maltodextrinas, son almidones obtenidos por hidrólisis del almidón,  $(C_6H_{12}O_5)_n$  como un polímero sacárido nutritivo no dulce, que consiste de unidades de D-glucosa unidas principalmente por cadenas  $\alpha$ - 1-4, se presenta como un polvo blanco o solución concentrada. Es definido por la Dextrosa Equivalente (DE) que es medida por la grado de hidrólisis de la molécula de almidón (Kenyon, 1995). Shahidi y Han (1993) y Reineccius (1991) clasificaron a las maltodextrinas como almidones parcialmente hidrolizados con dextrosa equivalente (DE) inferior a 20.

Las maltodextrinas con DE inferiores a 20, poseen baja higroscopicidad, los materiales encapsulados con este producto resultan en polvos con flujo libre, el aumento de los sólidos en la alimentación del atomizador puede aumentar la eficiencia

económica de la operación. Las soluciones con maltodextrina presentan baja viscosidad, excelente solubilidad en agua fría y facilitan la liberación del material activo. Aliado a estas propiedades se suma el bajo costo relativo.

### 3.8. ANALISIS INSTRUMENTAL DEL COLOR

Francis (1983) citado por Dib Taxi (2001), menciona que las alteraciones de los pigmentos pueden ser determinadas por la medida del color, utilizada como una forma indirecta de análisis de su contenido. La medida instrumental es un método más simple y rápido en comparación con el análisis químico.

La normalización de las unidades de luz y color fue decidida en Paris en 1931, en una reunión de la Comisión Internacional d'Eclairage (CIE), donde fue establecida una nomenclatura en un espacio de color (método para expresar al color de un objeto o fuente de luz) basados en los valores triestímulos XYZ. Un colorímetro triestímulo simple es formado, básicamente, por una luz blanca de una fuente patrón establecida por la CIE, que incide sobre la muestra y sufre una reflexión difusa en un ángulo de 45°, donde es medida en una fotocélula, después pasa por filtros (X, Y y Z) que simulan las curvas de un observador patrón (a un ángulo de 2 o 10°). La luz incidente en la fotocélula es modificada y proporciona lecturas que simulan lo que los ojos ven (Francis & Clydesdale, 1975, citados por Dib Taxi, 2001).

El espacio de color CIElab ( $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ ) es una de las modificaciones del sistema del colorímetro triestímulos, juntamente con el sistema Hunter ( $L$ ,  $a$  y  $b$ ). Este fue definido en 1971 con el objetivo de uniformizar las diferencias de color determinadas instrumentalmente con las diferencias visuales. En este espacio de color, se hace las lecturas de los valores de  $L^*$  (luminosidad), de las coordenadas de cromaticidad:  $a^*$  (intensidad de los colores rojo y verde) y  $b^*$  (intensidad de los colores amarillo y azul) y de los valores de  $\Delta E$  (diferencia total del color). Los valores de esas variaciones se refieren a las diferencias entre la muestra que está siendo analizada, en determinado tiempo y la muestra considerada como patrón (Hunter, 1975). Al respecto, Chua *et al.* (2000) determinaron la diferencia total del color ( $\Delta E$ ) en piezas de banana, guaba y papas con la siguiente ecuación:

$$\Delta E = \sqrt{(L^* - L_0^*)^2 + (a^* - a_0^*)^2 + (b^* - b_0^*)^2} \quad (3)$$

## **IV. METODOLOGÍA**

## **4.1. LUGAR DE EJECUCION**

La investigación fue realizada en las instalaciones de la Planta Piloto de Procesamiento de Alimentos y laboratorios de: Ingeniería, Físico-química, Instrumentación, Microbiología y Biotecnología; pertenecientes a la Facultad de Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima-Perú

## **4.2. MATERIALES Y EQUIPOS**

### **4.2.1. MATERIA PRIMA**

La procedencia de la materia prima utilizada fue el Distrito de Campo Verde, Provincia de Coronel Portillo en el Departamento de Ucayali.

### **4.2.2. EQUIPOS**

- Secador por atomización a escala de laboratorio LAB PLANT. Modelo SD-BASIC (Huddersfield, England).
- Estufa Mermert®. Modelo 500
- Balanza Analítica marca AND®, FR-300 MKII
- Espectrofotómetro. Espectronic. Génesis 5. Milton Roy.
- Colorímetro marca Minolta®
- Centrifuga refrigerada. Vegyipari Gepgyar.
- Potenciómetro marca Schott Garate:cg 728-USA
- Filtro prensa (Zambelli, Italia)
- Mufla y Estufa al vacío. Labor Muszeripari Muvek.
- Prensa hidráulica y Licuadora doméstica
- Baño María y Bomba al vacío (Vacuum Brand)
- Pulpeadora-Refinadora
- Refractómetro de Mano
- Vortex y Agitador magnético.

### **4.2.3. MATERIALES**

- Cisoles de filtración, Pyrex
- Embudos y Baguetas
- Beakers de 100, 400 y 600 l.
- Fiolas 25, 50 y 100 ml.

- Tubos de ensayo y Gradillas.
- Papeles filtro y aluminio
- Canastilla de acero inoxidable.
- Termómetro.
- Mesa de acero Inoxidable.
- Bolsas laminadas con aluminio, polietileno y polipropileno.
- Otros materiales necesarios para los diferentes ensayos.

#### **4.2.4. REACTIVOS**

- Etanol 95%
- Hidróxido de sodio (NaOH)
- Ácido Metafosfórico
- 2,4-dinitrofenilhidrazina
- Ácido Clorhídrico (HCl)
- Glucosa anhidra
- Acido 3,5-dinitrosalicílico (DNS)
- Carbonato de sodio
- Cloruro de sodio (NaCl)
- Tartrato de sodio y potasio
- Acetato de potasio
- Nitrito de sodio
- Maltodextrina 10-12 DE
- Hipoclorito de sodio
- Otros reactivos, especificados en los métodos de análisis.

### **4.3. METODOS DE ANALISIS**

#### **4.3.1. ANALISIS FISICO-QUIMICO**

- Análisis proximal: Humedad, proteínas, Grasa, Ceniza, Fibra y Carbohidratos (por diferencia). Método de la AOAC (1995)
- Acidez titulable total. Método de la AOAC (1995).
- Determinación del pH. Método de la AOAC (1995).
- Sólidos Solubles. Método de la AOAC (1995)
- Sólidos Totales. Obtenido por la diferencia 100% -% humedad (Guevara, 1990)
- Azúcares Reductores: Método espectrofotométrico Miller (1959).

- Azúcares Totales. Método de Ross (1972).
- Determinación de Actividad de Agua. Las muestras fueron analizadas con el medidor AQUALAB, valores obtenidos a 20°C
- Determinación de Vitamina C. Cuantificación espectrofotométrica usando el método de 2,4- dinitrofenilhidrazina desarrollado por Al-Ani et al. (2007).
- Rendimiento en polvo. Relación entre contenido total de sólidos en el polvo y contenido de sólidos en la mezcla, recomendado por Tonon et al. (2008).
- Determinación del Color. El color de las muestras se midió en un Colorímetro Minolta, obteniéndose los parámetros de color L\*, a\*, b

#### **4.3.2. ANALISIS MICROBIOLÓGICO**

- Recuento de aerobios mesófilos viables, ICMSF (2000).
- Recuento de mohos y levaduras, ICMSF (2000)

#### **4.4. METODOLOGIA EXPERIMENTAL**

##### **4.4.1. FLUJO DE OPERACIONES PARA EL PROCESO DE SECADO POR ATOMIZACIÓN DEL JUGO DE CAMU-CAMU**

El flujo de operaciones para el proceso de secado por atomización del jugo de camu-camu se muestra en la Figura N° 2 y se describen a continuación:

##### **❖ Materia prima**

Se utilizó frutos de camu-camu en estado fresco, provenientes del Distrito de Campo Verde - Provincia de Coronel Portillo - Departamento de Ucayali.

##### **❖ Selección y Clasificación**

La selección permitió obtener frutos sin daños físicos o microbiológicos, lo cual evitó contaminar el producto final. La operación de clasificación permitió contar con los mejores frutos maduros (rojos) y con madurez intermedia (verde-rojos).

##### **❖ Lavado y Desinfectado**

El lavado se realizó con agua potable circundante eliminando las partículas extrañas que se encuentren adheridas a la superficie de los frutos. Posteriormente, el desinfectado tuvo la finalidad de reducir e inactivar la carga microbiana, realizándose por inmersión en solución de hipoclorito de sodio 100 ppm de cloro libre residual (CLR) por un período de 5 minutos (Guevara, 1990)

#### ❖ **Pulpeado y Refinado**

El pulpeado se realizó utilizando una malla de 2 mm, permitiendo separar la pulpa de la cáscara y semillas. Para el refinado se utilizó una malla de 0.22 mm, eliminando las partículas groseras e impurezas.

#### ❖ **Prensado**

El prensado se realizó con la ayuda de una prensa hidráulica manual acondicionada con un cedazo (filtro), cuya finalidad fue separar los sólidos insolubles del jugo.

#### ❖ **Filtración**

Se llevó a cabo en un filtro prensa provista de placas Leitz filtrantes. La finalidad fue retener las partículas más finas de sólidos insolubles remanentes que acompañan al jugo y que podrían haber obstruido el jet de la boquilla de atomización.

#### ❖ **Estandarización y Homogenización**

En esta etapa, se adicionaron diferentes concentraciones de maltodextrinas en función del peso total del jugo. Luego se homogenizaron las mezclas en una licuadora (30-60 segundos), para distribuir uniformemente el encapsulante.

#### ❖ **Secado por Atomización**

En esta etapa, se utilizó un secador por atomización a escala de laboratorio LabPlant SD-BASIC (Figura N° 3). El objetivo de esta operación fue dispersar y evaporar el agua del jugo de camu-camu hasta los niveles de estabilidad, minimizando la destrucción térmica de sus componentes, obteniendo un producto en polvo, caracterizado por conservar sus atributos de calidad.

#### ❖ **Envasado**

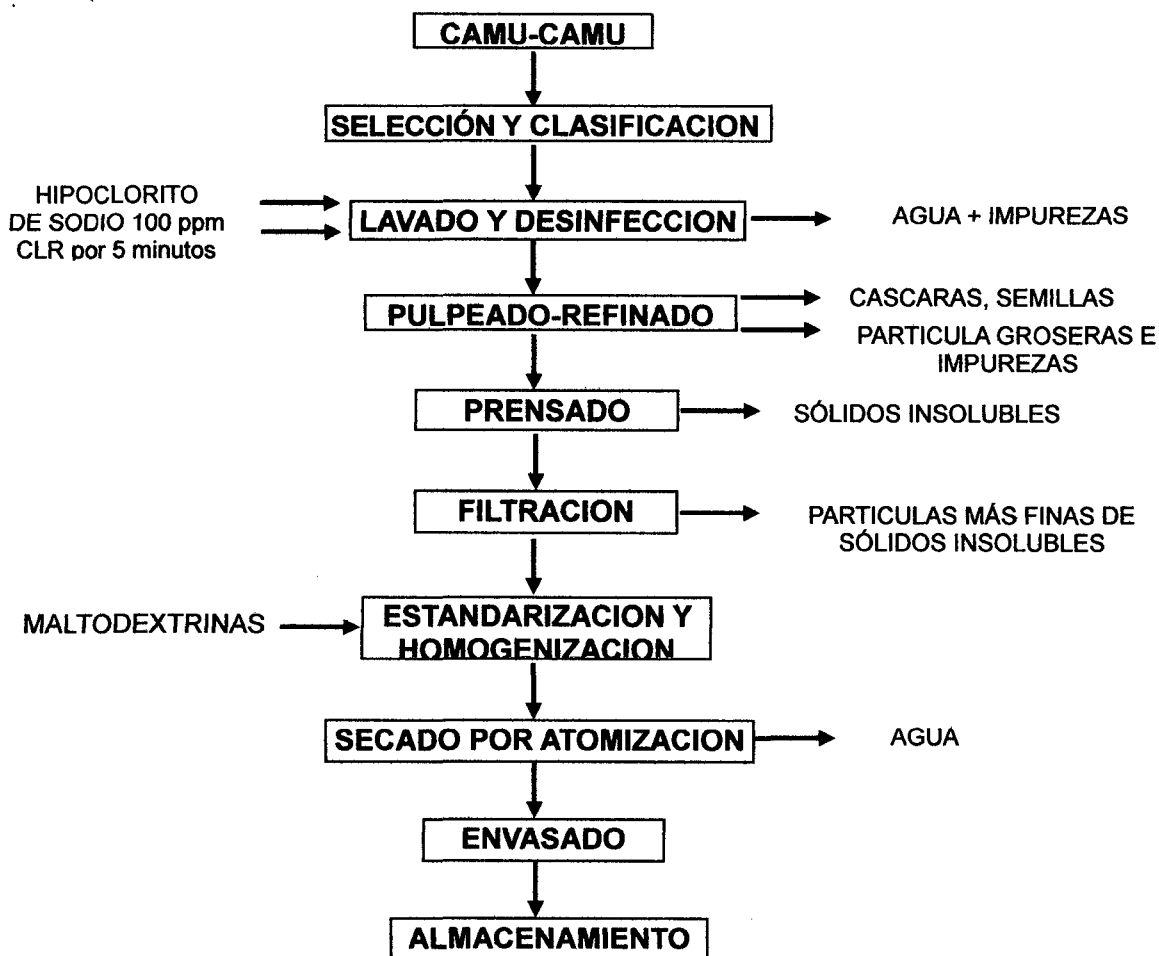
El producto atomizado fue envasado manualmente en bolsas bidireccionadas de polietileno y polipropileno y selladas con la ayuda de una selladora eléctrica, para asegurar su aislamiento del medio ambiente que lo rodea.

#### ❖ **Almacenamiento**

El producto empacado fue almacenado a temperatura ambiente.



**FIGURA N° 2. FLUJO DE OPERACIONES PARA SECAR JUGO DE CAMU-CAMU POR ATOMIZACIÓN.**



Fuente: El Autor (2012)

#### 4.4.2. FASES DE LA INVESTIGACION

En la Figura N° 4 se presenta el esquema experimental para el proceso de secado por atomización del jugo de camu-camu.

##### A. MATERIA PRIMA

Se trabajó con frutos de camu-camu en madurez intermedia por su mayor contenido de ácido ascórbico, textura firme y desarrollo de pigmentos de color rojo intenso lo que le permite conferir un color rosado a la pulpa, recomendado por Villachica (1996) y Sotomayor (2000). En el jugo se realizaron los siguientes análisis: proximal, acidez titulable, azúcares reductores, azúcares totales, pH, sólidos solubles, sólidos totales, parámetros del color ( $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ ), actividad de agua ( $A_w$ ) y ácido ascórbico.

## **B. ESTANDARIZACIÓN Y HOMOGENIZACIÓN**

En esta fase se probaron concentraciones de maltodextrina que variaron de 11.5-18.5 %. Luego se homogenizaron las mezclas. Antes de proceder al secado se controló los sólidos totales, sólidos solubles y ácido ascórbico.

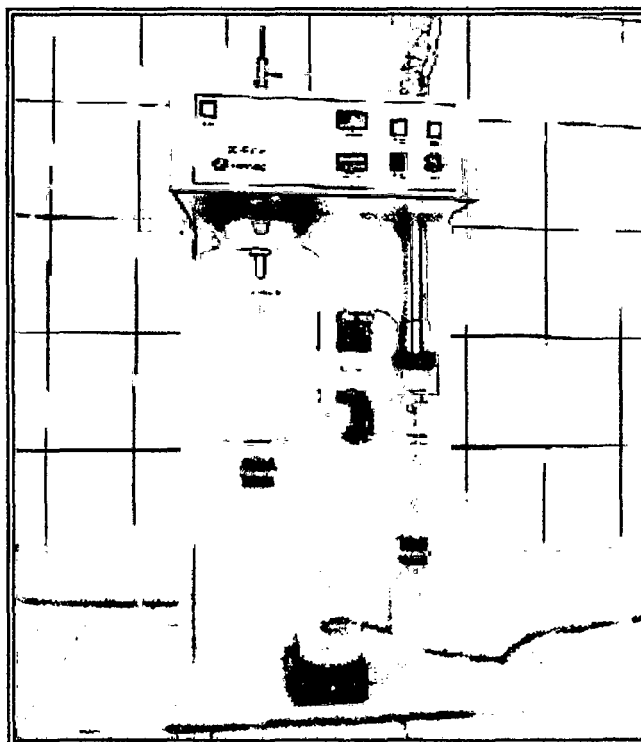
## **C. SECADO POR ATOMIZACIÓN**

El proceso de secado por atomización fue realizado en un Spray Dryer a escala de laboratorio LabPlant SD-BASIC, que operó con un flujo de alimentación de 9-10 g/min (mezcla protegida de la luz y bajo agitación constante), presión de aire comprimido de 3 bar, diámetro de boquilla aspersión de 0.5 mm, flujo de aire de 70 m<sup>3</sup>/h y temperatura de salida de aire (TSA) de 85°C. La temperatura de entrada de aire varió de 126 a 154°C y la concentración de maltodextrina entre 11.5 y 18.5% (diseño experimental).

## **D. CARACTERIZACIÓN DEL PRODUCTO FINAL**

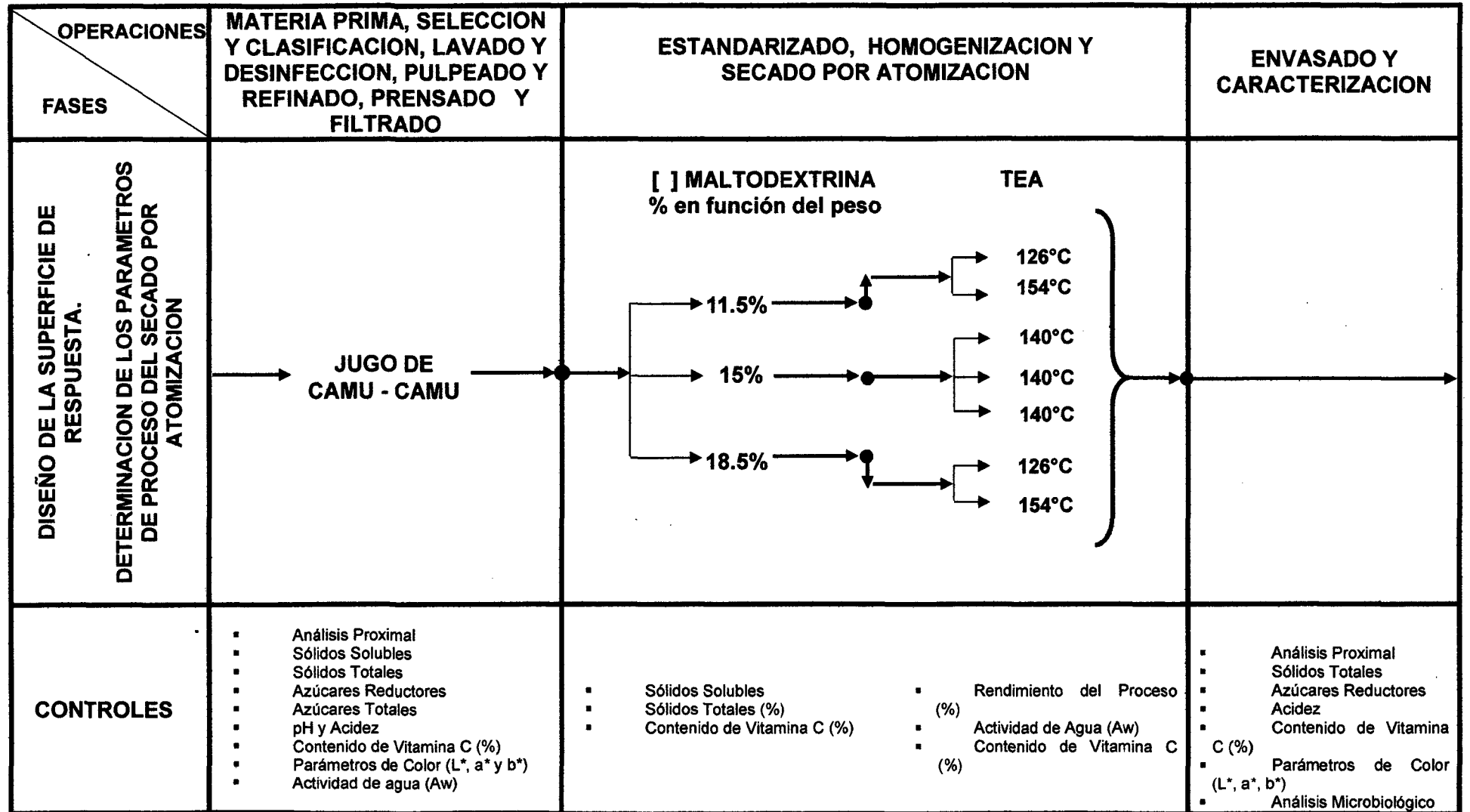
Para evaluar la calidad del jugo de camu-camu en polvo final se realizaron los siguientes análisis: proximal (humedad, proteínas, grasa, ceniza, fibra y carbohidratos), sólidos totales, acidez, azúcares reductores, contenido de vitamina C (%), parámetros del color (L\*, a\*, b\*) y Análisis microbiológico (Recuento total microorganismos aerobios, Recuento de mohos y levaduras y Coliformes totales).

**FIGURA N° 3. SPRAY DRYER UTILIZADO EN EL SECADO DEL JUGO DE CAMU-CAMU**



Fuente: El Autor (2012)

FIGURA Nº 4. ESQUEMA EXPERIMENTAL DEL PROCESO DE SECADO DE JUGO DE CAMU-CAMU POR ATOMIZACION.



Fuente: El autor (2012)

#### 4.4.3. DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANALISIS ESTADISTICO

Aplicando en Método de Superficie de Respuesta (Montgomery, 2002), fueron evaluados el efecto de la concentración de maltodextrina y temperatura de entrada de aire sobre el rendimiento del secado ( $Y_1$ ), contenido de vitamina C ( $Y_2$ ) y actividad de agua ( $Y_3$ ), con el propósito de determinar los parámetros de proceso para la obtención del jugo de camu-camu atomizado de mejor calidad.

Los análisis estadísticos correspondientes al Método de Superficie de Respuesta se realizaron utilizando el Programa Estadístico Design-Expert® 7.0 (Trial versión).

##### A. DISEÑO DE LA SUPERFICIE DE RESPUESTA: ESTIMACIÓN DE LOS MODELOS MATEMÁTICOS DE PRIMER ORDEN.

El análisis de superficie de respuesta de primer orden para el rendimiento del secado ( $Y_1$ ), contenido de vitamina C ( $Y_2$ ) y actividad de agua ( $Y_3$ ), se realizó mediante un Diseño Factorial, que consta de 4 puntos factoriales ( $2^k$ ) y 3 repeticiones en el punto central; dando un total de 7 puntos experimentales. Los niveles de la variable  $x_1$  y  $x_2$  se establecieron en base a la investigación realizada por Dib Taxi (2001). La Tabla N° 5 muestra los niveles de variables codificadas para el Diseño Factorial.

**TABLA N° 5. VARIABLES INDEPENDIENTES NATURALES Y CODIFICADAS CONSIDERADAS PARA EL DISEÑO FACTORIAL.**

Variable	Unidad	Símbolo		Niveles		
		Codificada	Natural	-1	0	1
Concentración de Maltodextrina	% (p/p)	$X_1$	$X_1$	11.5	15	18.5
Temperatura de Entrada de Aire	°C	$X_2$	$X_2$	126	140	154

**Fuente: El autor (2012)**

La Tabla N° 6 presenta el Diseño Factorial utilizado, donde se muestran los 7 puntos experimentales (4 puntos factoriales y 3 repeticiones en el punto central).

**TABLA N° 6. DISEÑO FACTORIAL DEL PROCESO DE SECADO.**

Puntos experimentales	(X <sub>1</sub> ) Concentración de Maltodextrina (%, p/p)	(X <sub>2</sub> ) Temperatura de Entrada de Aire (°C)
1	11.5 (-1)	126 (-1)
2	18.5 (1)	126 (-1)
3	11.5 (-1)	154 (1)
4	18.5 (1)	154 (1)
5	15 (0)	140 (0)
6	15 (0)	140 (0)
7	15 (0)	140 (0)

Fuente: El autor (2012)

### A.1. RENDIMIENTO DEL SECADO

Los valores promedio obtenidos del rendimiento del secado, fueron sometidos a un Análisis de Regresión Múltiple (método de mínimos cuadrados) y ajustados a un modelo de primer orden, que incluye la dependencia de dicha respuesta en función de las variables bajo estudio. Dicho polinomio correspondió a la siguiente ecuación polinomial de primer grado:

$$\hat{y} = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_{12} x_1 x_2 \quad (4)$$

Donde:

$\hat{y}$  : Rendimiento del Secado Estimado (%).

$\beta_0$  : Término independiente.

$\beta_1, \beta_2$  : Coeficientes de regresión lineal

$\beta_{12}$  : Coeficientes de regresión de la interacción

$x_1, x_2$  : Concentración de Maltodextrina (% p/p) y Temperatura de entrada de aire (°C).

Posteriormente, se realizó el Análisis de Varianza y la Prueba de Significancia de los coeficientes del modelo estimado (significancia  $\alpha = 0.05$ ).

En referencia al ANVA, de acuerdo con Cornell (2002), Eren & Kaymak-Ertekin (2007); Pighinelli *et al.* (2008), Shi *et al.* (2008) y Pighinelli *et al.* (2009), se estableció la significancia estadística del modelo y coeficientes del mismo; además de una falta de ajuste no significativo. La significancia estadística del

modelo y los coeficientes fueron determinados mediante la Prueba de Fischer; debiéndose registrar un valor de probabilidad F (Prob > F) menor a 0.05. Por otro lado, la falta de ajuste del modelo fue también establecida mediante ésta prueba; debiendo ser un valor de probabilidad F (Prob > F) mayor a 0.05. La bondad del ajuste de la ecuación de regresión de las observaciones experimentales fue verificada por el Coeficiente de Determinación ( $R^2$ ) y Coeficiente de Determinación Ajustado ( $R^2_{adj}$ ).

Para visualizar el efecto combinado de la concentración de maltodextrina y la temperatura de entrada de aire sobre rendimiento del secado, se graficaron las curvas de contorno (en dos dimensiones) y la superficie de respuesta (en tres dimensiones) correspondientes a la Ecuación 4.

## A.2. CONTENIDO DE VITAMINA C

Los valores promedio obtenidos del contenido de vitamina C, fueron sometidos a un Análisis de Regresión Múltiple (método de mínimos cuadrados) y ajustados a un modelo de primer orden, que incluye la dependencia de dicha respuesta en función de las variables bajo estudio. Dicho polinomio correspondió a la siguiente ecuación polinomial de primer grado:

$$\hat{y} = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_{12} x_1 x_2 \quad (5)$$

Donde:

$\hat{y}$  : Contenido de Vitamina C estimado (%).

$\beta_0$  : Término independiente.

$\beta_1, \beta_2$  : Coeficientes de regresión lineal

$\beta_{12}$  : Coeficientes de regresión de la interacción

$x_1, x_2$  : Concentración de Maltodextrina (% p/p) y Temperatura de entrada de aire (°C).

Posteriormente, se realizó el Análisis de Varianza y la Prueba de Significancia de los coeficientes del modelo estimado (significancia  $\alpha = 0.05$ ).

En referencia al ANVA, de acuerdo con Cornell (2002), Eren & Kaymak-Ertekin (2007); Pighinelli *et al.* (2008), Shi *et al.* (2008) y Pighinelli *et al.* (2009), se estableció la significancia estadística del modelo y coeficientes del mismo;

además de una falta de ajuste no significativo. La significancia estadística del modelo y los coeficientes fueron determinados mediante la Prueba de Fischer; debiéndose registrar un valor de probabilidad F (Prob > F) menor a 0.05. De igual forma, la falta de ajuste del modelo fue también establecida mediante ésta prueba; debiendo ser un valor de probabilidad F (Prob > F) mayor a 0.05. La bondad del ajuste de la ecuación de regresión de las observaciones experimentales fue verificada por el Coeficiente de Determinación ( $R^2$ ) y Coeficiente de Determinación Ajustado ( $R^2_{adj}$ ).

Para visualizar el efecto combinado de la concentración de maltodextrina y la temperatura de entrada de aire sobre el contenido de vitamina C, se graficaron las curvas de contorno (en dos dimensiones) y la superficie de respuesta (en tres dimensiones) correspondientes a la Ecuación 5.

### A.3. ACTIVIDAD DE AGUA

Los valores promedio obtenidos de la actividad de agua, fueron sometidos a un Análisis de Regresión Múltiple (método de mínimos cuadrados) y ajustados a un modelo de primer orden, que incluye la dependencia de dicha respuesta en función de las variables bajo estudio. Dicho polinomio correspondió a la siguiente ecuación polinomial de primer grado:

$$\hat{y} = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_{12} x_1 x_2 \quad (6)$$

Donde:

$\hat{y}$  : Contenido de Vitamina C estimado (%).

$\beta_0$  : Término independiente.

$\beta_1, \beta_2$  : Coeficientes de regresión lineal

$\beta_{12}$  : Coeficientes de regresión de la interacción

$x_1, x_2$  : Concentración de Maltodextrina (% p/p) y Temperatura de entrada de aire (°C).

Posteriormente, se realizó el Análisis de Varianza y la Prueba de Significancia de los coeficientes del modelo estimado (nivel de significación  $\alpha=0.05$ ).

En referencia al ANVA, de acuerdo con Cornell (2002), Eren & Kaymak-Ertekin (2007); Pighinelli *et al.* (2008), Shi *et al.* (2008) y Pighinelli *et al.* (2009),

se estableció la significancia estadística del modelo y coeficientes del mismo; además de una falta de ajuste no significativo. La significancia estadística del modelo y los coeficientes fueron determinados mediante la Prueba de Fischer; debiéndose registrar un valor de probabilidad F (Prob > F) menor a 0.05. Asimismo, la falta de ajuste del modelo fue también establecida mediante ésta prueba; debiendo ser un valor de probabilidad F (Prob > F) mayor a 0.05. La bondad del ajuste de la ecuación de regresión de las observaciones experimentales fue verificada por el Coeficiente de Determinación ( $R^2$ ) y Coeficiente de Determinación Ajustado ( $R^2_{adj}$ ).

Para visualizar el efecto combinado de la concentración de maltodextrina y la temperatura de entrada de aire sobre la actividad de agua, se graficaron las curvas de contorno (en dos dimensiones) y la superficie de respuesta (en tres dimensiones) correspondientes a la Ecuación 6.

#### **B. DETERMINACION DE LOS PARAMETROS DE PROCESO DEL SECADO POR ATOMIZACION.**

Para la determinación de los parámetros de proceso de secado por atomización se aplicó la Superposición de las Curvas de Contorno, descrita por Montgomery (2002), Abdullah *et al.* (2007) y Corzo *et al.* (2008).

Las curvas de contorno del rendimiento del secado, contenido de vitamina C y actividad de agua fueron superpuestas con la finalidad de encontrar la región óptima, eligiendo en dicha región una combinación de niveles de las variables que nos permitió determinar los parámetros óptimos del proceso de secado por atomización del jugo de camu-camu; para lo cual se utilizó el programa estadístico Design-Expert 7.0 (Trial versión)

#### **C. VERIFICACION DE LOS PARAMETROS DE PROCESO**

Considerando los parámetros de proceso, se secaron por atomización muestras de jugo de camu-camu fueron secadas por atomización, los mismos que serán fueron comparados con sus respectivos valores experimentales.



## **V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

## 5.1. RENDIMIENTO DEL CAMU-CAMU

La Tabla N° 7 muestra que el rendimiento en pulpa del camu-camu, corresponde al 50.12% del peso de la fruta, siendo superior al reportado por Huapaya (1994) de 46.58% e inferior a los obtenidos por Sotomayor (2000) y Maeda y Andrade (2003) que son de 54.8% y 59.2 a 59.9%, respectivamente. El rendimiento del jugo filtrado fue del 48.62%, el cual es ligeramente inferior al reportado por Dib Taxi (2001), que es del 50%. Al respecto, Pantastico (1978) explica que estas diferencias pueden ser atribuidas principalmente al tipo de extracción empleado, diámetro de malla utilizada para el pulpeado y refinado, proceso de prensado y filtración para la obtención del jugo, así como también variedad y labores culturales.

**TABLA N° 7. RENDIMIENTOS PROMEDIOS DEL CAMU-CAMU.**

<b>COMPONENTE</b>	<b>RENDIMIENTO (%)</b>
Fruta	100
Pulpa	50.12
Jugo (Filtrado)	48.62
Cáscara, semilla y fibra	49.16
Pérdidas totales	2.22

Fuente: El autor (2012)

## 5.2. CARACTERÍSTICAS FISICO-QUÍMICAS DEL JUGO DE CAMU-CAMU

Las características físico-químicas del jugo de camu-camu se muestran en la Tabla N° 8, las que concuerdan con Zapata & Dufour (1993), Dib Taxi (2001), Maeda & Andrade (2003) y Maeda *et al.* (2006).

**TABLA N° 8. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DEL JUGO DE CAMU-CAMU.**

COMPONENTES	Media ± DE
	Base Húmeda
Humedad (g/100g)	94.24 ± 0.11
Proteína (g/100g)	0.31 ± 0.02
Grasa (g/100g)	0.08 ± 0.02
Fibra (g/100g)	0.04 ± 0.001
Cenizas (g/100g)	0.24 ± 0.01
Carbohidratos (g/100g)	5.10 ± 0.02
Sólidos Solubles (°Brix)	5.3 ± 0.06
Sólidos Totales (%)	5.76 ± 0.11
pH	2.58 ± 0.1
Acidez (g /100g)	3.55 ± 0.04
Azúcares Reductores (g/100g)	2.02 ± 0.06
Azúcares Totales (g/100g)	4.21 ± 0.08
Ácido ascórbico (mg/100g)*	2099.44 ± 16.5
Ácido ascórbico (mg/100g)**	1979.92 ± 46.5
Parámetros de Color (CIELab):	
L*	35.42 ± 0.07
a*	10.26 ± 0.11
b*	3.23 ± 0.11

\*Fruta Entera (pulpa)

\*\*Jugo Filtrado

Fuente: El autor (2012)

Se puede observar un alto contenido de vitamina C (1979.92 mg/100g), el cual es superior a los encontrados por Dib Taxi (2001), Maeda & Andrade (2003) que son de 1432.2 y 1200 mg/100g, respectivamente. Por el contrario, Villachica (1996) y Maeda *et al.* (2006) reportaron valores más elevados, 2780 y 2585.40 mg/100g, respectivamente. Asimismo, se puede resaltar que los bajos contenidos de azúcares presentes en el jugo aliados a su elevada acidez, dificultan su consumo de forma natural.

Sotomayor (2000) menciona que la disminución del contenido de vitamina C del jugo con respecto al fruto entero, se debe principalmente a la oxidación de la vitamina C

en presencia de oxígeno, así como a la influencia de la luz, temperatura ambiental y enzimas oxidantes durante el proceso de obtención del jugo (pulpeado, refinado y filtración). Las pérdidas del 9.98 % de ácido ascórbico experimentado en la investigación, fue relativamente baja, y es posible se deba a que parte de vitamina presente en la cáscara se transfirió a la pulpa durante el proceso de pulpeado-refinado, incrementando de este modo los niveles de ácido ascórbico. Dib Taxi (2001) reportó pérdidas del 19.94% de vitamina C en el jugo de camu-camu. Al respecto, Maeda *et al.* (2006) verificaron que el contenido de ácido ascórbico en la cáscara fue 88% superior a la pulpa (sin procesar) y que durante el proceso de despulpado parte de la vitamina C migro hacia la pulpa, elevando su concentración.

El jugo de camu-camu presentó una coloración rosada, con valores de L\*, a\* y b\* de 35.42, 10.26 y 3.23, respectivamente. Al respecto Maeda *et al.* (2006), mencionan que los principales pigmentos del camu-camu son las antocianinas siendo responsables de la coloración rojo-púrpura y que durante el proceso de despulpado estos pigmentos migran hacia la pulpa llegando a tener concentraciones entre 9 y 181 mg/100g.

### 5.3. ESTANDARIZADO Y HOMOGENIZADO

La Tabla N° 9 muestra las características de las mezclas jugo de camu-camu + Maltodextrina acondicionadas para el secado por atomización.

**TABLA N° 9. CARACTERÍSTICAS DE LAS MEZCLAS DE JUGO + MALTODEXTRINA PARA LA ATOMIZACION.**

MEZCLAS DE JUGO	SÓLIDOS SOLUBLES <sup>a</sup> (°BRIX)	CONTENIDO DE HUMEDAD <sup>a</sup> (%)	SÓLIDOS TOTALES <sup>a</sup> (%)
JUGO SIN MALTODEXTRINA	5.30	94.24	5.76
JUGO + 11.5% MALTODEXTRINA	14.20	85.41	14.59
JUGO + 15% MALTODEXTRINA	16.50	83.07	16.93
JUGO + 18.5% MALTODEXTRINA	19.00	80.70	19.30

a : Valor que representa el promedio de repeticiones

Fuente: El autor (2012)

Las mezclas (jugo + maltodextrina) con 11.5, 15, 18.5 % reportaron 14.20, 16.50, 19.00 °Brix, respectivamente, siendo superiores a los sólidos solubles iniciales presentes en el jugo natural (5.3 °Brix). Estos resultados muestran la excelente solubilidad de la maltodextrina. En tal sentido, Adhikari *et al.* (2004) mencionan que las maltodextrina son utilizadas por su capacidad para encapsular los azúcares de bajo peso molecular como la fructosa y ácidos orgánicos.

La adición de maltodextrina en el jugo incrementó el contenido total de sólidos de 14.59 a 19.30 %, generando una disminución en el contenido de humedad de 85.41 a 80.70 %, tal como se aprecia en el Cuadro N° 9. Al respecto, Quek *et al.* (2007) observaron que la adición de maltodextrina puede incrementar el contenido total de sólidos en la alimentación, reduciendo así el contenido de humedad del producto.

El contenido de vitamina C en las mezclas disminuyó con la adición de maltodextrina de 1979.92 a 1710.34 mg/100g en base húmeda y de 34398.67 a 8987.88 mg/100g en base seca, respectivamente.

## **5.4. PROCESO DE SECADO POR ATOMIZACION DEL JUGO DE CAMU-CAMU**

### **5.4.1. ESTIMACION DE LOS MODELOS MATEMATICOS DE PRIMER ORDEN Y ANALISIS DE LA SUPERFICIE DE RESPUESTA**

#### **A. RENDIMIENTO DEL SECADO**

Los valores promedio del rendimiento del secado obtenidos y estimados para cada punto experimental analizado se presentan en la Tabla N° 10.

Luego de realizar el Análisis de Regresión Múltiple con los valores obtenidos, se determinó la siguiente ecuación polinomial de primer grado:

$$\hat{y} = 63.435 + 8.577 x_1 + 6.849 x_2 \quad (7)$$

donde,  $\hat{y}$  representa el rendimiento del secado estimado (%);  $x_1$  la Concentración de maltodextrina (% p/p) y  $x_2$  la Temperatura de entrada de aire (°C) en su forma codificada.

**TABLA N° 10. RENDIMIENTO DEL SECADO OBTENIDO Y ESTIMADO POR EL DISEÑO FACTORIAL.**

Puntos Experimentales	X <sub>1</sub> Concentración Maltodextrina (% p/p)	X <sub>2</sub> Temperatura Entrada de Aire (°C)	Rendimiento del Secado Obtenido (y) <sup>a</sup> (%)	Rendimiento del Secado Estimado (ŷ) (%)
1	11.5 (-1)	126 (-1)	48.027	50.16
2	18.5 (1)	126 (-1)	60.879	63.01
3	11.5 (-1)	154 (1)	57.419	59.55
4	18.5 (1)	154 (1)	78.878	81.01
5	15 (0)	140 (0)	65.080	63.43
6	15 (0)	140 (0)	66.475	63.43
7	15 (0)	140 (0)	68.291	63.43

a : Valor que representa el promedio de tres repeticiones

Fuente: El autor (2012)

En la Tabla N° 11 se presenta el Análisis de Varianza (ANVA) para el modelo lineal de la Ecuación 7.

**TABLA N° 11. ANALISIS DE VARIANZA (ANVA) DE LA REGRESION PARA EL RENDIMIENTO DE SECADO.**

Fuente de Variabilidad	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	Valor F <sub>c</sub>	Valor F <sub>t</sub>	Prob > F
Modelo	500.43	3	166.81	11.11	9.28	0.0393
Residual	45.04	3	17.87			
Falta de Ajuste	42.54	1	48.42	33.98	18.51	0.0282
Error Puro	2.50	2	2.59			
<b>TOTAL</b>	<b>545.47</b>	<b>6</b>				

Media = 63.43, Desviación Estandár (SD) = 3.87, R<sup>2</sup> = 0.9174, R<sup>2</sup><sub>adj</sub> = 0.8348

Fuente: El autor (2012)

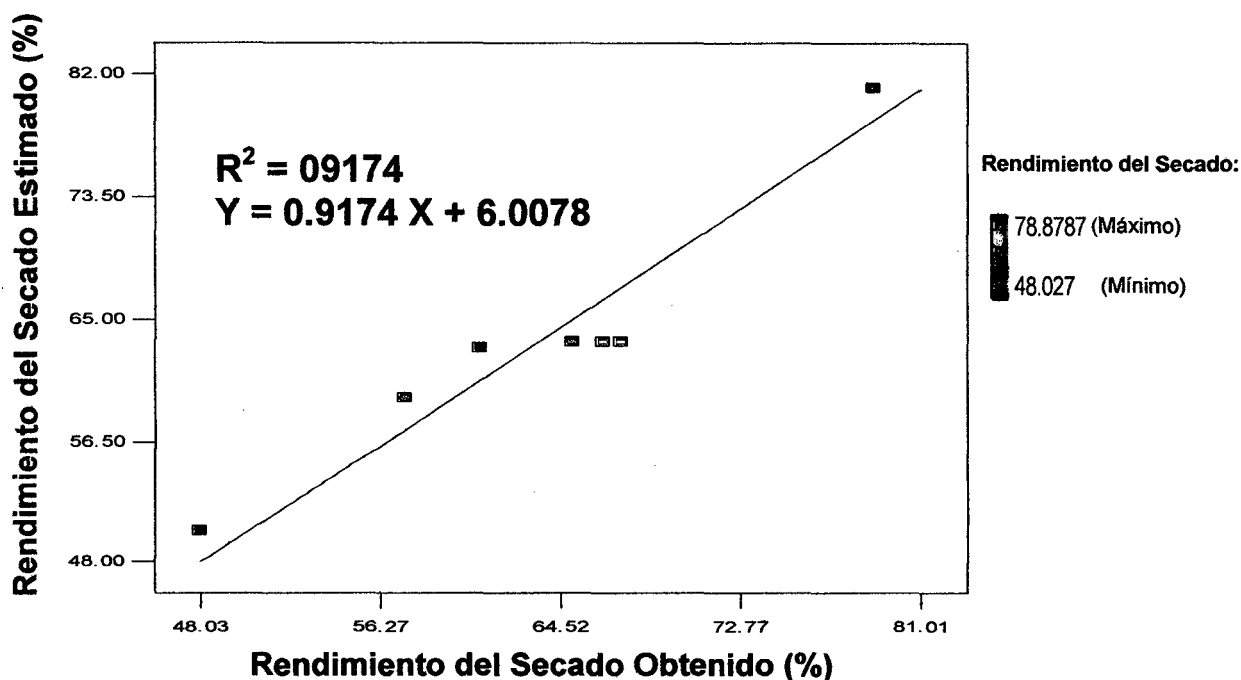
El análisis de varianza de la regresión indica que el modelo de primer orden es significativo al 95% de nivel de confianza, puesto que presenta un valor F calculado (11.11) superior al valor F tabular  $F_{(3, 3, \alpha=0.05)} = 9.28$ . El modelo mostró una falta de ajuste



274

significativo a niveles de confianza de 95% pues el valor F calculado (33.98) es superior a los valores tabulares  $F_{(1, 2, \alpha=0.05)} = 18.51$ , lo que evidencia la falta de ajuste del modelo, sugiriendo la necesidad de expansión del modelo polinomial de primer orden.

El coeficiente de determinación múltiple ( $R^2$ ) indica que el porcentaje de variación explicada por el modelo fue de 91.74% y que solamente el 8.26 % no fue representada por el modelo (existiendo una adecuada correlación entre los valores observados y estimados de la respuesta, tal como se muestra en la Figura N° 5). Eren& Kaymak-Ertekin (2007) mencionan que un valor alto de  $R^2$  no siempre implica que el modelo de regresión sea bueno. Es decir que si adicionamos una variable al modelo se incrementaría siempre el  $R^2$ , sin hacer caso de que si la variable adicional es estadísticamente significativa o no. Por esta consideración el  $R^2_{adj}$  se usa para evaluar el ajuste del modelo el que debería ser mayor a 90%. La Tabla N° 11 muestra que el valor de  $R^2$  (0.9174) y  $R^2_{adj}$  (0.8348) difieren indicando, que los términos no significativos no tendrían que incluirse en el modelo.



**FIGURA N° 5. RENDIMIENTO DEL SECADO OBTENIDO VERSUS EL RENDIMIENTO DE SECADO ESTIMADO POR EL MODELO DE PRIMER ORDEN.**

La Tabla N° 12 presenta la prueba de significancia de los coeficientes de la ecuación de regresión lineal para el rendimiento del secado. Los coeficientes del modelo, fueron analizados mediante la Prueba F de Fischer, con la finalidad de eliminar aquellos que no presentan significancia estadística (nivel de significancia  $\alpha = 0.05$ ).

**TABLA N° 12. PRUEBA DE SIGNIFICANCIA DE LOS COEFICIENTES DE LA ECUACION DE REGRESION LINEAL PARA EL RENDIMIENTO DEL SECADO.**

<b>Término del Modelo</b>	<b>Coeficiente Estimado</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Grados de Libertad</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Valor <math>F_c</math></b>	<b>P - value Prob &gt; F</b>
<b>Lineal</b>						
$x_1$	8.577	294.27	1	294.27	19.60	0.0214
$x_2$	6.849	187.62	1	187.62	12.50	0.0385
<b>Interacción</b>						
$x_1x_2$	2.153	18.54	1	18.54	1.23	0.3475

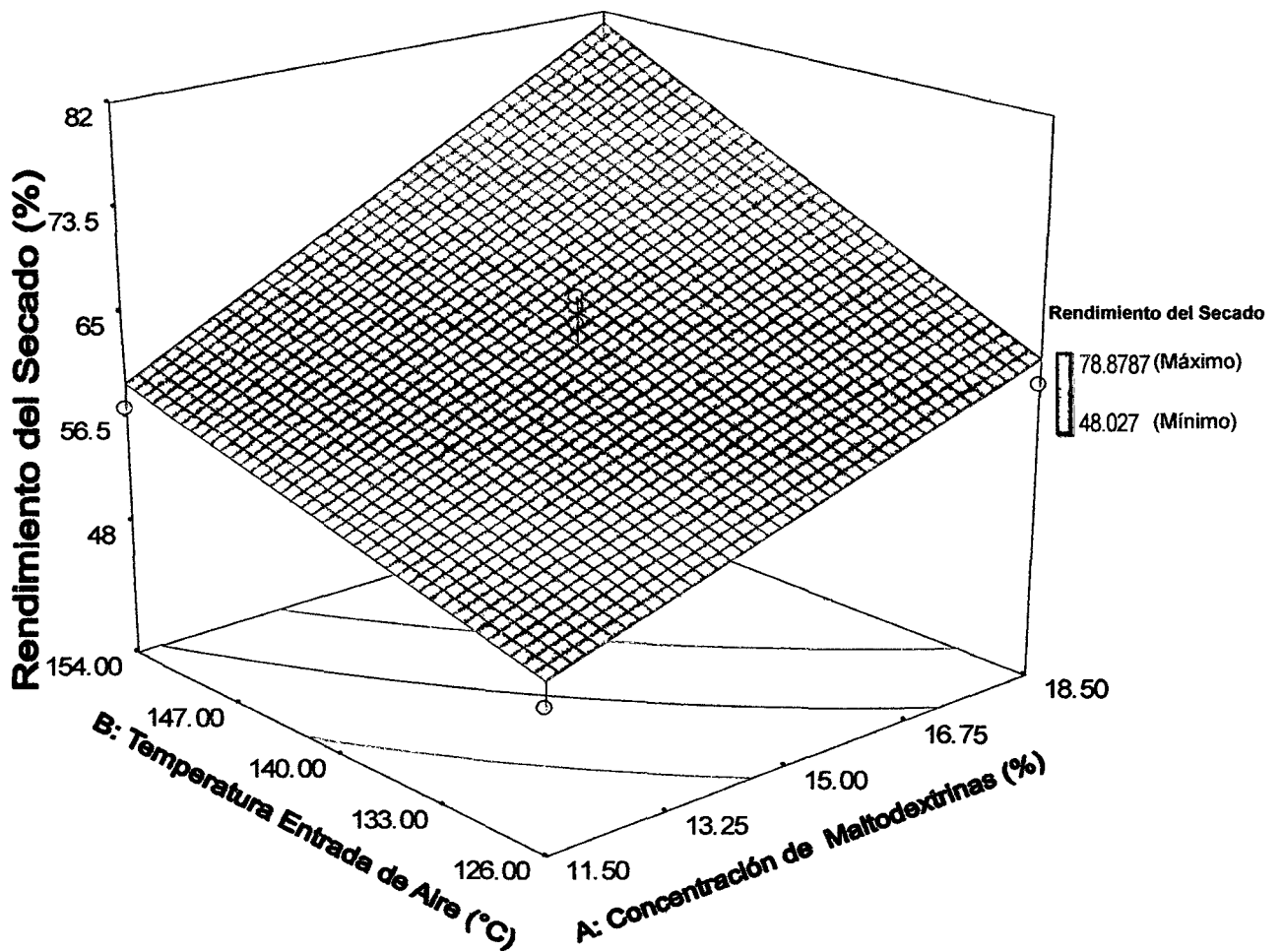
**Fuente: El autor (2012)**

De acuerdo con Cornell (2002), se eliminaron del modelo aquellos coeficientes que resultaron ser no significativos por presentar valores de probabilidad F ( $Prob > F$ ) mayores al nivel de significación escogido ( $\alpha = 0.05$ ). Por lo tanto, los coeficientes asociados a los términos  $x_1$  y  $x_2$  son significativos a un nivel de confianza de 95%, mientras que el coeficiente asociado al término  $x_1x_2$  es no significativo a un nivel de confianza de 95%.

En las Figuras N° 6 y 7 se muestran la influencia de la concentración de maltodextrina y la temperatura de entrada de aire sobre el rendimiento del secado por atomización.

El incremento de la concentración de maltodextrina tiene un efecto positivo sobre el rendimiento del secado, generando altos rendimientos de secado. Dib Taxi (2001) reportó un comportamiento similar, verificando un mayor rendimiento de jugo en polvo al incrementar la concentración de maltodextrina. Al respecto, Adhikari *et al.* (2004) expresaron que las maltodextrinas alteran la superficie pegajosa de los azúcares de bajo peso molecular (glucosa, sacarosa y fructosa) y ácidos orgánicos (ácido cítrico, málico y tartárico), elevando su temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ), por lo tanto, reducen la pegajosidad del producto facilitando el secado por atomización.



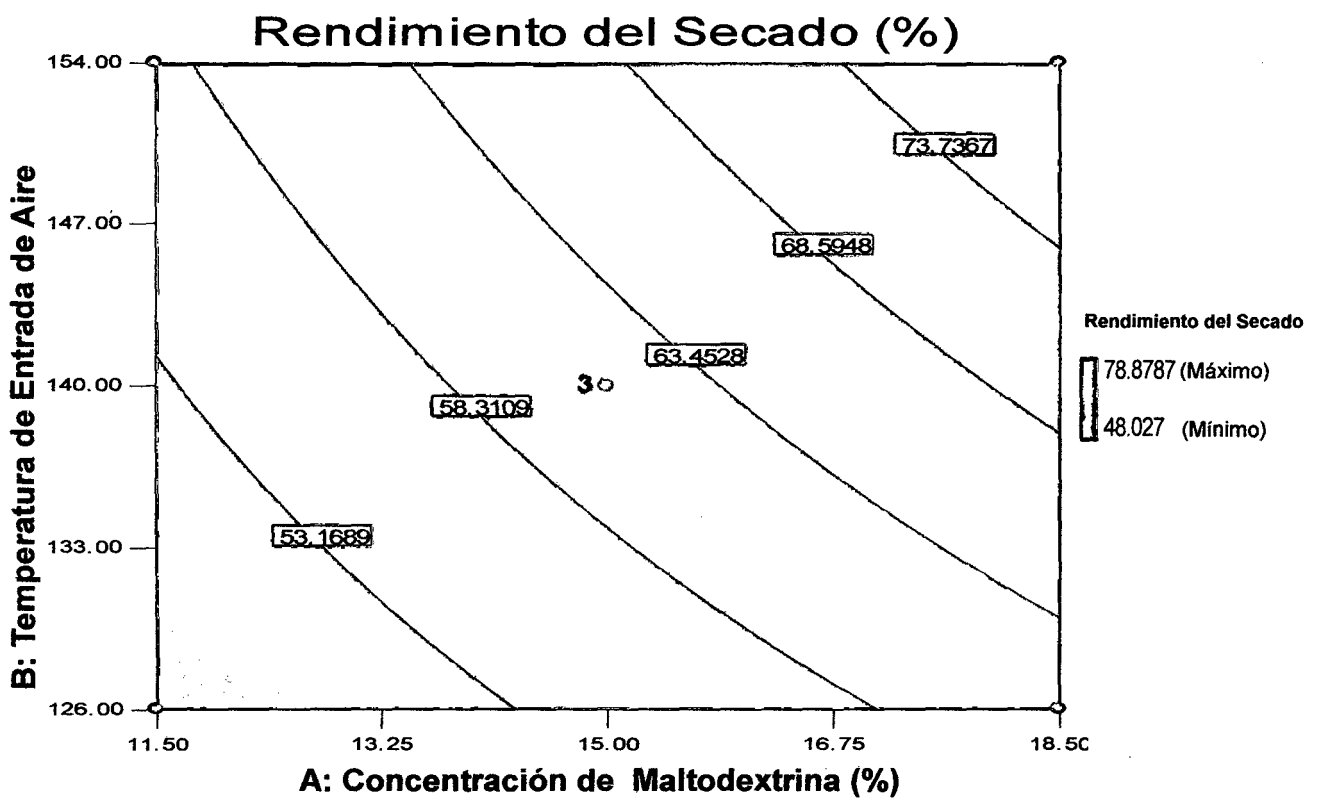


**FIGURA N° 6. SUPERFICIE DE RESPUESTA PARA EL RENDIMIENTO DE SECADO.**

Por su parte; Tonon *et al.* (2008), mencionan que la concentración de maltodextrina muestra un efecto negativo en el rendimiento del secado, probablemente debido a la viscosidad de la mezcla, la cual se incrementa exponencialmente con esta variable. Cai y Corke (2000), indican que el incremento de la viscosidad en la alimentación puede originar más sólidos para pegarse en las paredes de la cámara de secado. Además, los altos contenidos de sólidos en la mezcla, proporcionan un alto contenido de sólidos disponibles, originando así que se peguen al estar en contacto con la pared de cámara de secado.

Las Figuras N° 6 y 7 permiten observar el efecto significativo de la temperatura de entrada de aire sobre el rendimiento del secado, conforme esta se va incrementando (126 a 154°C). Este comportamiento es similar al reportado por Dib Taxi (2001), quien obtuvo un mayor rendimiento de jugo en polvo (mayor al 26% en materia seca) cuando la

temperatura de entrada de aire se incrementó de 120 a 152°C. Así mismo, Tonon *et al.* (2008) mencionan que el incremento de la temperatura conduce a altos rendimientos, atribuyéndose este efecto a la gran eficiencia de los procesos de transferencia de calor y masa que ocurre cuando se incrementa la temperatura. Por el contrario; Chegini & Ghobadian (2007), indican que al incrementar la temperatura de entrada de aire (130 a 150 °C) se reduce el rendimiento y se incrementan los sólidos insolubles. El aumento de la temperatura de entrada de aire a menudo causa la fusión y cohesión del polvo en la pared, reduciendo la producción y el rendimiento.



**FIGURA N° 7. CURVAS DE CONTORNO PARA EL RENDIMIENTO DE SECADO.**

## **B. CONTENIDO DE VITAMINA C**

Los valores promedio del contenido de Vitamina C obtenidos y estimados para cada punto experimental analizado se presentan en la Tabla N° 13.

Luego de realizar un Análisis de Regresión Múltiple con los valores obtenidos, se determinó la siguiente ecuación polinomial de primer grado:

$$\hat{y} = 7.696 - 1.284x_1 - 0.301x_2 + 0.225x_1x_2 \quad (8)$$

donde  $\hat{y}$  representa el contenido de Vitamina C estimado (%),  $x_1$  la Concentración de maltodextrina (% p/p) y  $x_2$  Temperatura de entrada de aire (°C), en su forma codificada.

**TABLA N° 13. CONTENIDO DE VITAMINA C OBTENIDO Y ESTIMADO POR EL DISEÑO FACTORIAL.**

Puntos Experimentales	$X_1$ Concentración Maltodextrina (% p/p)	$X_2$ Temperatura Entrada de Aire (°C)	Contenido Vitamina C Obtenido ( $y_i$ ) <sup>a</sup> (%)	Contenido Vitamina C Estimado ( $\hat{y}_i$ ) (%)
1	11.5 (-1)	126 (-1)	9.582	9.507
2	18.5 (1)	126 (-1)	6.564	6.488
3	11.5 (-1)	154 (1)	8.529	8.453
4	18.5 (1)	154 (1)	6.412	6.336
5	15 (0)	140 (0)	7.635	7.696
6	15 (0)	140 (0)	7.567	7.696
7	15 (0)	140 (0)	7.583	7.696

a: Valor que representa el promedio de tres repeticiones

Fuente: El autor (2012)

En la Tabla N° 14 se presenta el Análisis de Varianza (ANVA) para el modelo cuadrático de la Ecuación 8.

**TABLA N° 14. ANALISIS DE VARIANZA (ANVA) DE LA REGRESION PARA EL CONTENIDO DE VITAMINA C.**

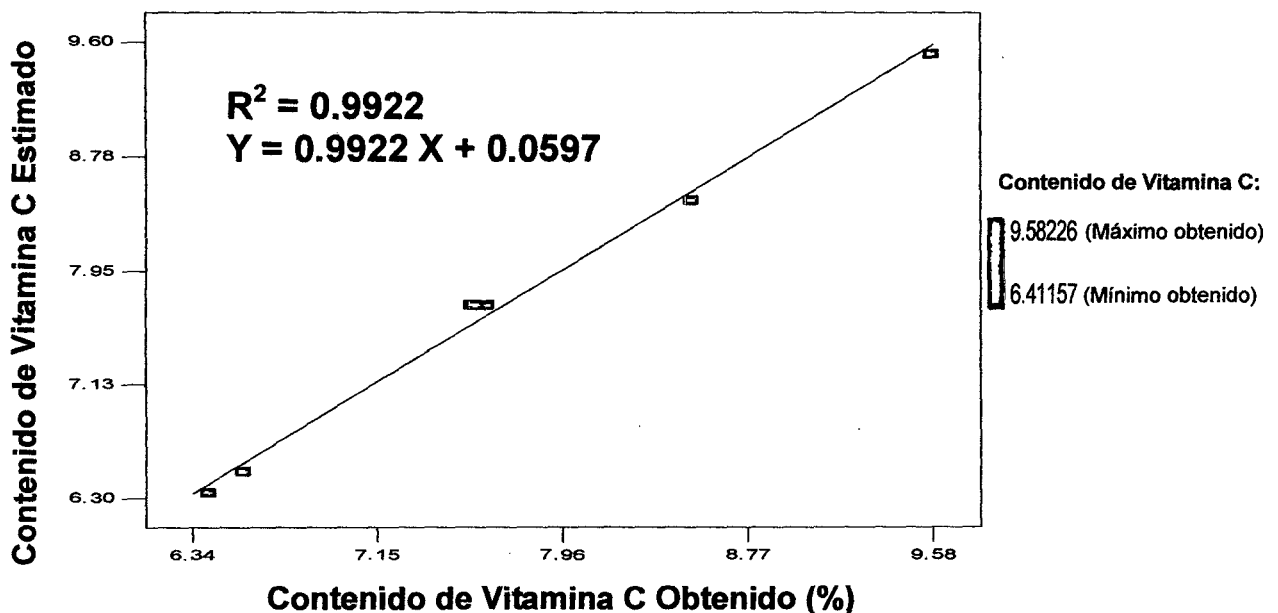
Fuente de Variabilidad	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	Valor $F_c$	Valor $F_t$	Prob > F
Modelo	7.16	3	2.39	127.66	9.28	0.0012
Residual	0.056	3	0.19			
Falta de Ajuste	0.053	1	0.053	42.58	18.51	0.0227
Error Puro	0.002513	2	0.001256			
<b>TOTAL</b>	<b>7.22</b>	<b>6</b>				

Media = 7.696, Desviación Estandár (SD) = 0.137,  $R^2 = 0.9922$ ,  $R^2_{adj} = 0.9845$

Fuente: El Autor (2012)

El análisis de varianza de la regresión indica que el modelo de primer orden es significativo al 95% de nivel de confianza, puesto que presenta un valor F calculado (127.66) superior al valor F tabular  $F_{(3, 3, \alpha=0.05)} = 9.28$ . Asimismo, el modelo mostró una falta de ajuste significativo a niveles de confianza de 95% pues el valor F calculado (42.58) también es superior a los valores tabulares  $F_{(1, 2, \alpha=0.05)} = 18.51$ , lo que evidencia la falta de ajuste del modelo, sugiriendo la necesidad de expansión del modelo polinomial de primer orden.

El coeficiente de determinación múltiple ( $R^2$ ) indica que el porcentaje de variación explicada por el modelo fue de 99.22% y que solamente el 0.78 % no fue representada por este (existiendo una adecuada correlación entre los valores observados y estimados de la respuesta, como se muestra en la Figura N° 8). Eren& Kaymak-Ertekin (2007), mencionan que un valor alto de  $R^2$  no siempre implica que el modelo de regresión sea bueno. Es decir que si adicionamos una variable al modelo, se incrementaría siempre el  $R^2$ , sin hacer caso de que si la variable adicional es estadísticamente significativa o no. Por esta consideración, el  $R^2_{adj}$  se usa para evaluar el ajuste del modelo, que debería ser mayor a 90%. La Tabla N° 14 muestra que el  $R^2$  (0.9922) y  $R^2_{adj}$  (0.9845) difieren indicando, que los términos no significativos no tendrían que incluirse en el modelo.



**FIGURA N° 8. CONTENIDO DE VITAMINA C OBTENIDO VERSUS EL CONTENIDO DE VITAMINA C ESTIMADO POR EL MODELO DE PRIMER ORDEN.**

La Tabla N° 15 presenta la prueba de significancia de los coeficientes de la ecuación de regresión lineal para el contenido de Vitamina C. Los coeficientes del modelo

estimado, se analizaron mediante la Prueba F de Fischer, con la finalidad de eliminar aquellos que no presentan significancia estadística (significancia  $\alpha = 0.05$ ).

**TABLA N° 15. PRUEBA DE SIGNIFICANCIA DE LOS COEFICIENTES DE LA ECUACION DE REGRESION LINEAL PARA EL CONTENIDO DE VITAMINA C.**

<b>Término del Modelo</b>	<b>Coefficiente Estimado</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Grados de Libertad</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Valor <math>F_c</math></b>	<b>P - value Prob &gt; F</b>
<b>Lineal</b>						
$x_1$	-1.28	6.594	1	6.594	353.234	0.0003
$x_2$	-0.301	0.363	1	0.363	19.473	0.0216
<b>Interacción</b>						
$x_1x_2$	0.225	0.203	1	0.203	10.879	0.0458

**Fuente:** El autor (2012)

De acuerdo con Cornell (2002), se eliminaron del modelo aquellos coeficientes que resultaron ser no significativos por presentar valores de probabilidad F ( $Prob > F$ ) mayores al nivel de significación escogido ( $\alpha = 0.05$ ). Por lo tanto, los coeficientes asociados a los términos  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_1x_2$  y son significativos a un nivel de confianza de 95%.

Las Figuras N° 9 y 10 muestran la influencia de la concentración de maltodextrina y la temperatura de entrada de aire sobre el contenido de Vitamina C del producto.

Se aprecia que el incremento de la concentración de maltodextrina tiene un efecto negativo sobre el contenido de Vitamina C, provocando una disminución significativa en la respuesta conforme su nivel aumenta. Este comportamiento es similar al reportado por Quek *et al.* (2007), quienes indican que la adición de altas concentraciones de maltodextrina produce polvos de baja calidad porque los nutrientes del jugo estarían diluidos.

Dib Taxi (2001) menciona que existe una concentración óptima de sólidos totales en el cual la retención de aquellos compuestos es mayor, siendo ésta próxima al 17% de sólidos totales. Adicionalmente, menciona que al trabajar con concentraciones de sólidos por encima de la óptima, puede ocurrir una disminución de la solubilidad del encapsulante, y por tanto, reduciéndose su capacidad de formar película sobre el material de relleno, ocasionando una menor la retención de compuestos termolábiles.

Las Figuras N° 9 y 10 permiten además, observar el efecto significativo que ejerce la temperatura de entrada de aire sobre la concentración de Vitamina C provocando una disminución en la respuesta. Dib Taxi (2001) reportó la disminución del contenido de vitamina C al describir el efecto de temperatura de entrada de aire en el rendimiento de vitamina C. La pérdida de éste nutriente probablemente se debe a la destrucción térmica de la misma, coincidiendo con Badui (2006), quien destaca que de todas las vitaminas, la C es la más lábil e inestable y que la degradación térmica y la oxidación son sus principales mecanismos de destrucción. Por su parte; Quek *et al.* (2007), trabajando con el secado por atomización del jugo de sandía, verificaron que al incrementarse la temperatura de entrada de aire ocurre una reducción del contenido de licopeno y  $\beta$ -caroteno en el polvo final.

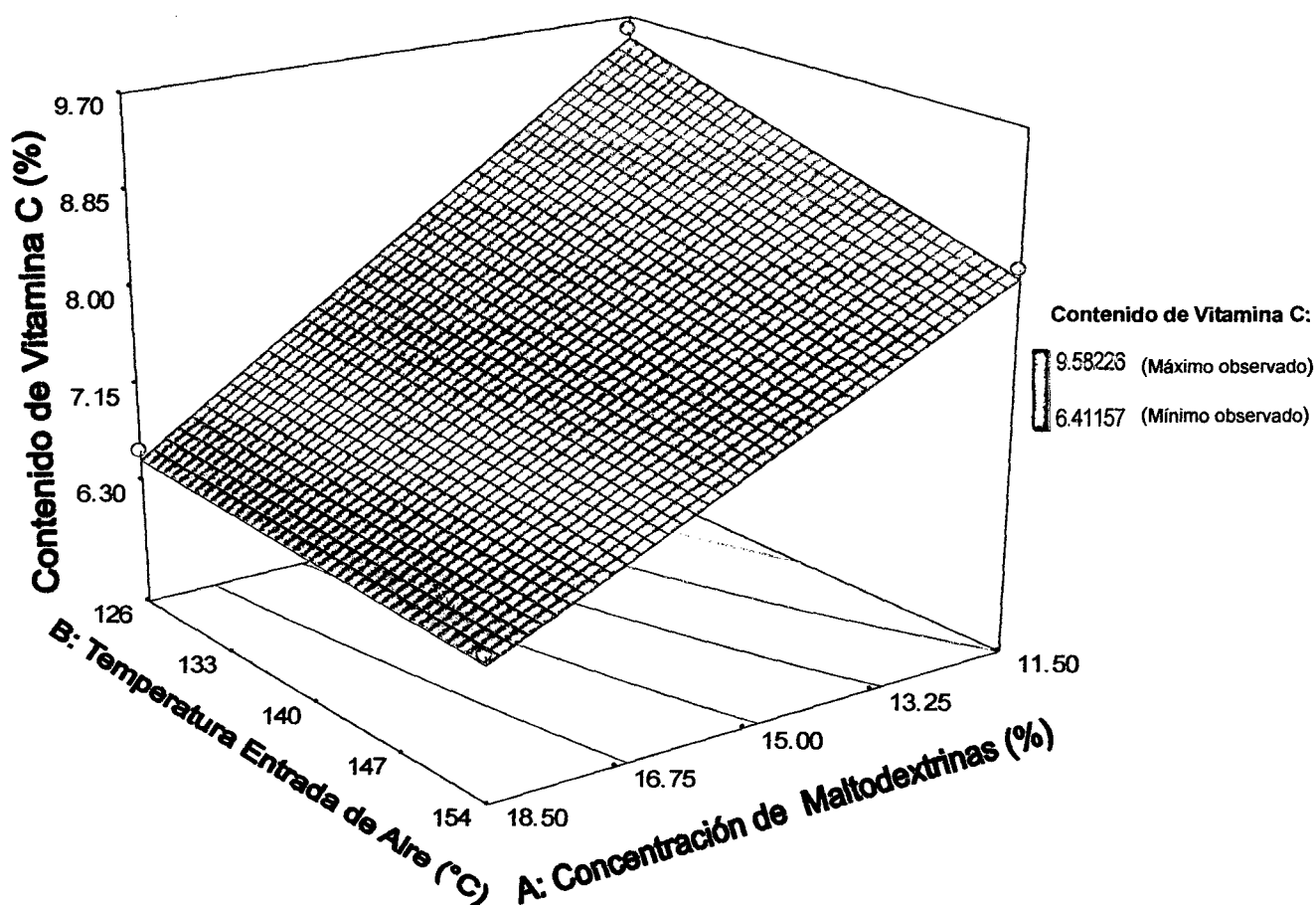


FIGURA N° 9. SUPERFICIE DE RESPUESTA PARA EL CONTENIDO DE VITAMINA C.

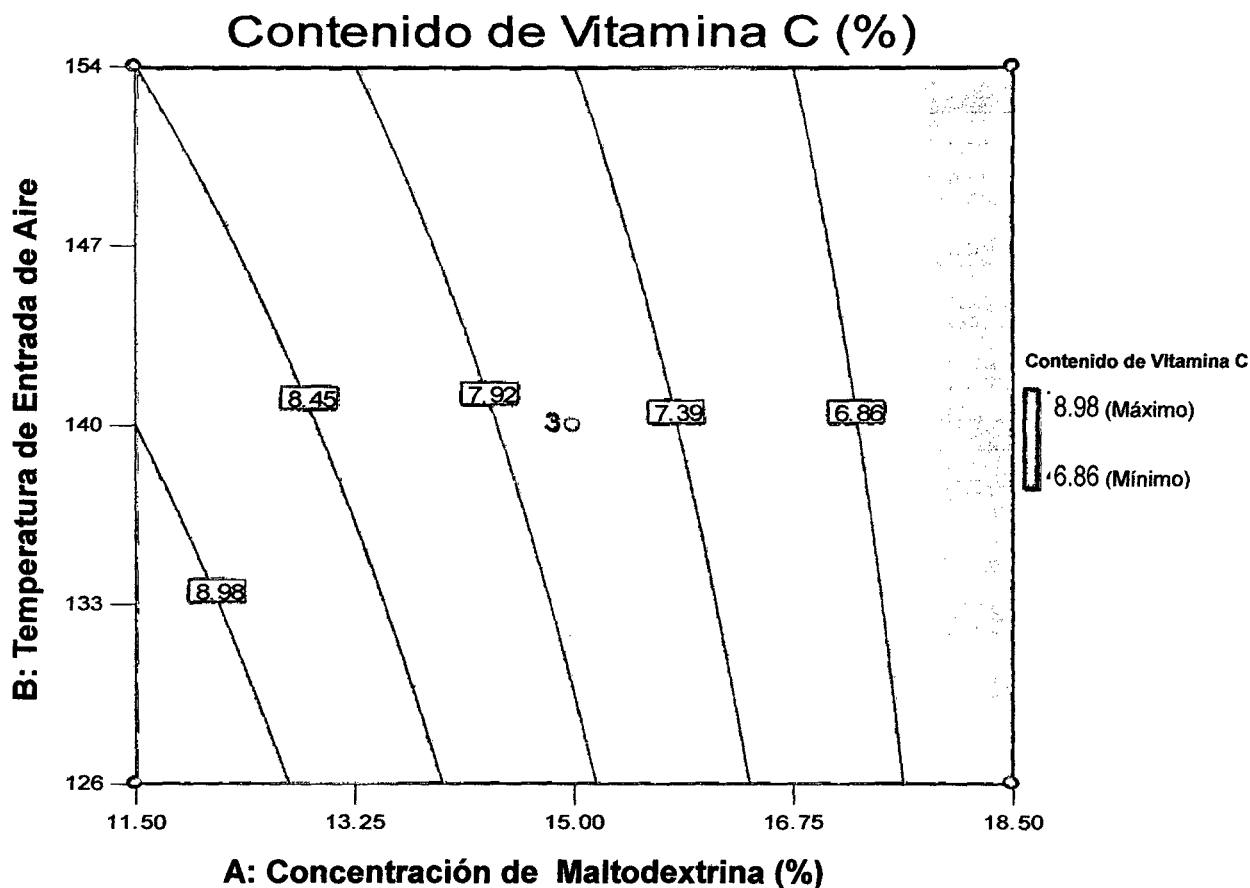


FIGURA N° 10. CURVAS DE CONTORNO PARA EL CONTENIDO DE VITAMINA C.

### C. ACTIVIDAD DE AGUA

Los valores promedio de la Actividad de agua obtenidos y estimados para cada punto experimental analizado se presentan en la Tabla N° 16.

Luego de realizar un Análisis de Regresión Múltiple con los valores obtenidos, se determinó la siguiente ecuación polinomial de primer grado:

$$\hat{y} = 0.258 - 0.00925 x_1 - 0.01125 x_2 \quad (9)$$

donde  $\hat{y}$  representa la actividad de agua estimada,  $x_1$  la Concentración de maltodextrina (% p/p) y  $x_2$  Temperatura de entrada de aire (°C), en su forma codificada.

**TABLA N° 16. ACTIVIDAD DE AGUA OBTENIDA Y ESTIMADA POR EL DISEÑO FACTORIAL.**

<b>Puntos Experimentales</b>	<b>x<sub>1</sub> Concentración Maltodextrina (%, p/p)</b>	<b>x<sub>2</sub> Temperatura Entrada de Aire (°C)</b>	<b>Actividad de Agua Obtenida (y<sub>i</sub>)<sup>a</sup></b>	<b>Actividad de Agua Estimada (ŷ<sub>i</sub>)</b>
1	11.5 (-1)	126 (-1)	0.279	0.281
2	18.5 (1)	126 (-1)	0.255	0.257
3	11.5 (-1)	154 (1)	0.251	0.253
4	18.5 (1)	154 (1)	0.238	0.240
5	15 (0)	140 (0)	0.260	0.258
6	15 (0)	140 (0)	0.262	0.258
7	15 (0)	140 (0)	0.261	0.258

**a** : Valor que representa el promedio de tres repeticiones

**Fuente:** El autor (2012)

En la Tabla N° 17 se presenta el Análisis de Varianza (ANVA) para el modelo cuadrático de la Ecuación 9.

**TABLA N° 17. ANALISIS DE VARIANZA (ANVA) DE LA REGRESION PARA LA ACTIVIDAD DE AGUA.**

<b>Fuente de Variabilidad</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Grados de Libertad</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Valor F<sub>c</sub></b>	<b>Valor F<sub>t</sub></b>	<b>Prob &gt; F</b>
Modelo	0.00087875	3	0.00029292	17.84	9.28	0.0204
Residual	0.00004925	3	0.00001642			
Falta de Ajuste	0.00004725	1	0.00004725	47.25	18.51	0.0205
Error Puro	0.000002	2	0.000001			
<b>TOTAL</b>	<b>0.000928</b>	<b>6</b>				

Media = 0.258, Desviación Estandár (SD) = 0.00405, R<sup>2</sup> = 0.9469, R<sup>2</sup><sub>adj</sub> = 0.8939

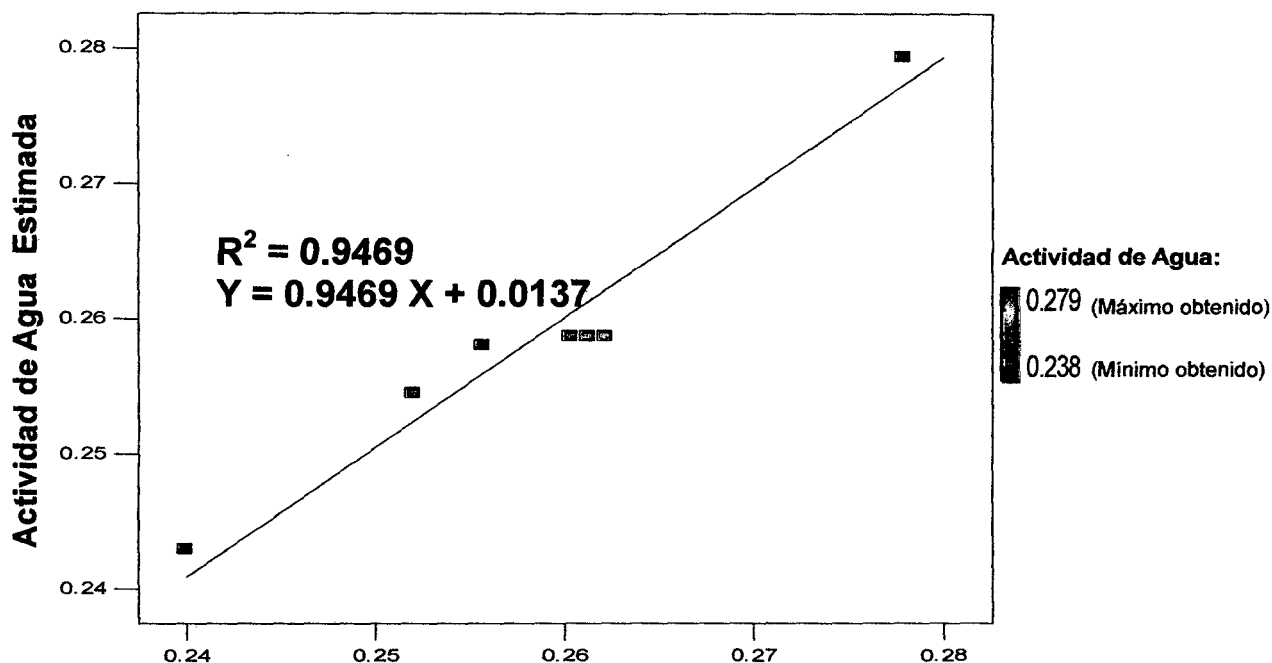
**Fuente:** El Autor (2012)

El análisis de varianza de la regresión indica que el modelo de primer orden es significativo al 95% de nivel de confianza, puesto que presenta un valor F calculado (17.84) superior al valor F tabular  $F_{(3, 3, \alpha=0.05)} = 9.28$ . El modelo mostró una falta de ajuste



significativo a niveles de confianza de 95% pues el valor F calculado (47.25) es superior a los valores tabulares  $F_{(1, 2, \alpha=0.05)} = 18.51$ , lo que evidencia la falta de ajuste del modelo, sugiriendo la necesidad de expansión del modelo polinomial de primer orden.

El coeficiente de determinación múltiple ( $R^2$ ) indica que el porcentaje de variación explicada por el modelo fue de 94.69% y que solamente el 5.31 % no fue representada por el modelo (existiendo una adecuada correlación entre los valores observados y estimados de la respuesta, tal como se muestra en la Figura N° 11). Eren & Kaymak-Ertekin (2007), mencionan que un valor alto de  $R^2$  no siempre implica que el modelo de regresión sea bueno. Por esta consideración el  $R^2_{adj}$  se usa para evaluar el ajuste del modelo el que debería ser mayor a 90%. La Tabla N° 17 muestra que el valor de  $R^2$  (0.9469) y  $R^2_{adj}$  (0.8939) difieren indicando, que los términos no significativos no tendrían que incluirse en el modelo.



**FIGURA N° 11. RESULTADO DE LA ACTIVIDAD DE AGUA OBTENIDA VERSUS LA ACTIVIDAD DE AGUA ESTIMADA POR EL MODELO DE PRIMER ORDEN.**

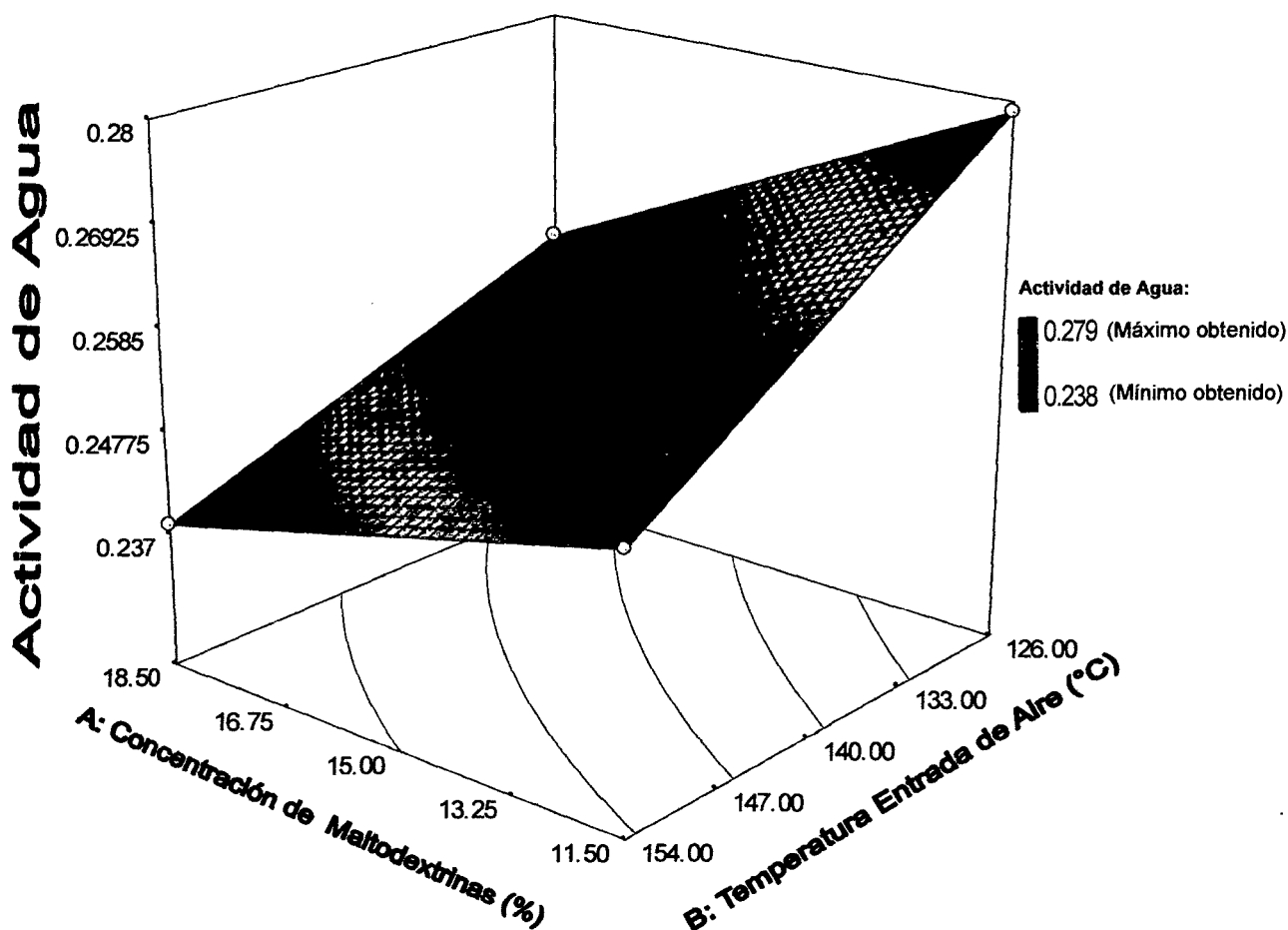
En la Tabla N° 18 se presenta la prueba de significancia de los coeficientes de la ecuación de regresión lineal para la Actividad de Agua. Los coeficientes del modelo estimado, fueron analizados mediante la Prueba F de Fischer, con la finalidad de eliminar aquellos que no presentan significancia estadística (nivel de significancia  $\alpha = 0.05$ ).

**TABLA N° 18. PRUEBA DE SIGNIFICANCIA DE LOS COEFICIENTES DE LA ECUACION DE REGRESION LINEAL PARA LA ACTIVIDAD DE AGUA.**

<b>Término del Modelo</b>	<b>Coefficiente Estimado</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Grados de Libertad</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Valor <math>F_c</math></b>	<b>P - value Prob &gt; F</b>
<b>Lineal</b>						
$x_1$	-0.00295	0.00034225	1	0.00034225	20.85	0.0197
$x_2$	-0.01125	0.00050625	1	0.00050625	30.84	0.0115
<b>Interacción</b>						
$x_1x_2$	0.00275	0.00003025	1	0.203	1.84	0.2677

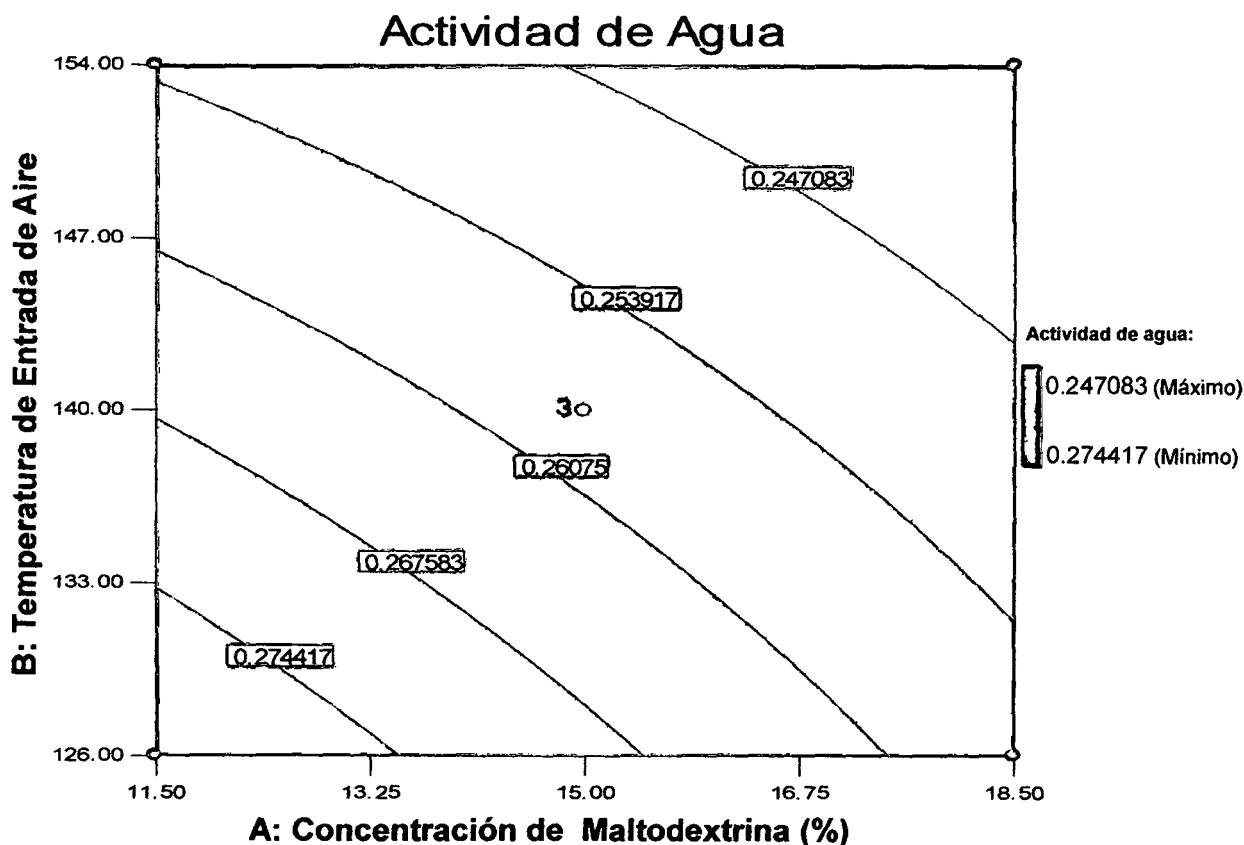
Fuente: El autor (2012)

De acuerdo con Cornell (2002), se eliminaron del modelo, aquellos coeficientes que resultaron no significativos por presentar valores de probabilidad F ( $Prob > F$ ) mayores al nivel de significación escogido ( $\alpha = 0.05$ ). Por lo tanto, los coeficientes asociados a los términos  $x_1$  y  $x_2$  son significativos a un nivel de confianza de 95%.



**FIGURA N° 12. SUPERFICIE DE RESPUESTA PARA LA ACTIVIDAD DE AGUA.**

En las Figuras N° 12 y 13 se muestra la superficie de respuesta y las curvas de contorno, respectivamente, donde se observa la influencia de la concentración de maltodextrina y la temperatura de entrada de aire sobre la actividad de agua del producto.



**FIGURA N° 13. CURVAS DE CONTORNO PARA LA ACTIVIDAD DE AGUA.**

Estas mismas figuras (N° 12 y 13) permiten visualizar el efecto significativo que ejerce la temperatura de entrada de aire sobre la actividad de agua provocando una disminución en la respuesta. Este decrecimiento en la actividad de agua probablemente se deba a la disminución del agua libre, provocada por la evaporación del agua libre. Este efecto se explica, dado a que al aumentar la temperatura de entrada de aire, la tasa de transferencia de calor hacia las partículas es grande, proporcionando una mayor fuerza motriz para la evaporación del agua libre, formándose polvos con reducido contenido de humedad y actividad de agua; hecho que encuentra justificación en lo expresado por Tonon *et al.* (2008), quienes mencionan que al aumentar las temperaturas de entrada de aire, se da un mayor gradiente de temperatura entre las partículas atomizadas y el aire de secado, resultando en una gran fuerza motriz para la evaporación y así producir polvos con baja actividad de agua. Por su parte, Quek *et al.* (2007), trabajando con el secado por atomización del jugo de sandía, verificaron que al incrementarse la temperatura de entrada de aire ocurre una reducción de la actividad de agua en el polvo final.

## 5.4.2. DETERMINACION DE LOS PARAMETROS OPTIMOS DEL PROCESO

Para la determinación de los parámetros de secado por atomización del jugo de camu-camu, se aplicó la Superposición de las curvas de contorno, teniendo en cuenta los criterios siguientes:

- ❖ Rendimiento del secado: Mayor o igual a 63.43%
- ❖ Contenido de Vitamina C: Mayor o igual a 7.2%
- ❖ Actividad de Agua: Menor o igual a 0.258

Bajo estas condiciones, las curvas de contorno del rendimiento del secado, contenido de vitamina C y actividad de agua fueron superpuestas haciendo uso del programa estadístico Design-Expert 7.0.

La Figura N° 14 muestra la Región Óptima de las respuestas estimadas por el software, eligiendo en dicha región una combinación de niveles de las variables que permitieron determinar que el 15% concentración de maltodextrina y 153°C de temperatura de entrada de aire representan los parámetros inmejorables del proceso de secado por atomización del jugo de camu-camu.

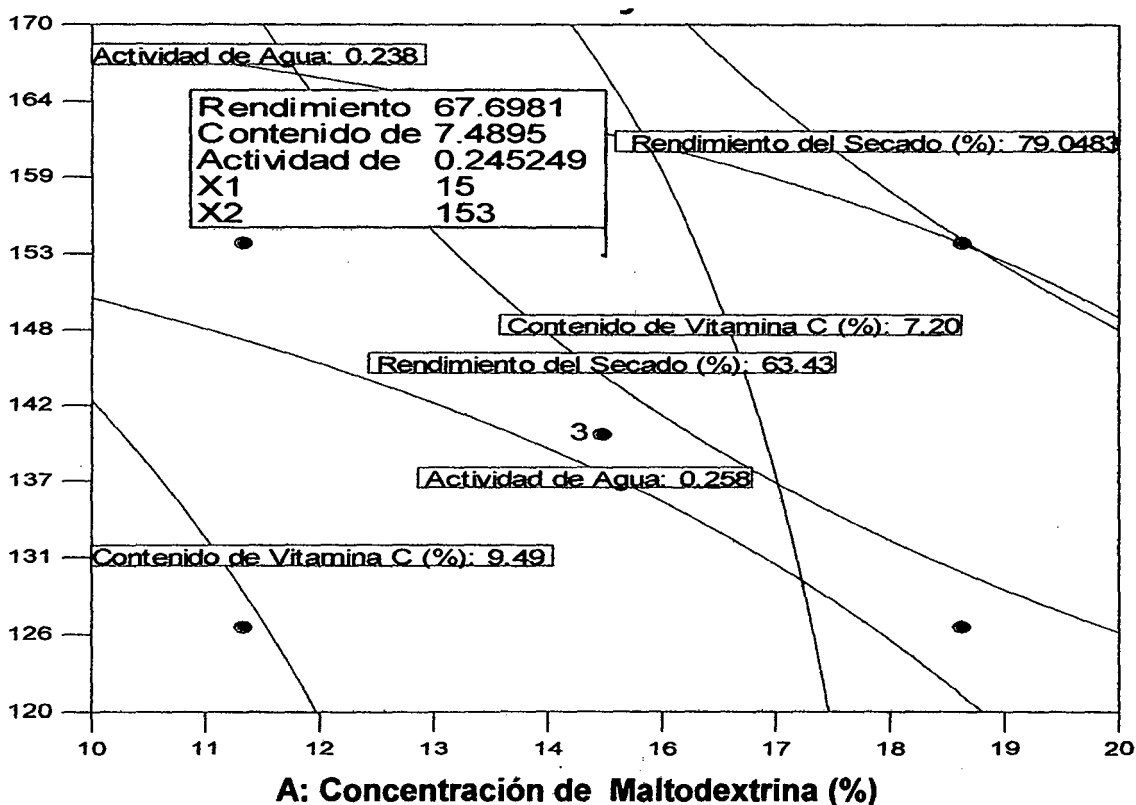


FIGURA N° 14. SUPERPOSICION DE LAS CURVAS DE CONTORNO DE LAS RESPUESTAS.

La Tabla N° 19 muestra los parámetros de proceso y las respuestas estimadas en la región óptima para el secado por atomización del jugo de camu-camu.

**TABLA 19. PARAMETROS DE PROCESO Y RESPUESTAS ESTIMADAS LUEGO DE LA SUPERPOSICION DE LAS CURVAS DE CONTORNO.**

<b>X<sub>1</sub></b> <b>Concentración de Maltodextrina</b> <b>(%, p/p)</b>	<b>X<sub>2</sub></b> <b>Temperatura de Entrada de Aire</b> <b>(°C)</b>	<b>Rendimiento del Secado</b> <b>(%)</b>	<b>Contenido de Vitamina C</b> <b>(%)</b>	<b>Actividad de agua</b>
<b>15</b>	<b>153</b>	<b>67.698</b>	<b>7.489</b>	<b>0.245</b>

Fuente: El autor (2012)

#### 5.4.3. VERIFICACION DE LOS PARAMETROS DE PROCESO

La Tabla N° 20 presenta los valores obtenidos (Rendimiento del secado, contenido de vitamina C y actividad de agua) y los valores estimados en la región óptima. Los valores estimados y experimentales, revelan una buena correspondencia entre ellos, indicando que el Método de Superficie de Respuesta (MSR) describe adecuadamente la relación entre las variables y respuestas, siempre y cuando se trabaje dentro de la zona experimental analizada.

**TABLA N° 20. VALORES ESTIMADOS Y OBTENIDOS PARA LAS RESPUESTAS EN LA REGION ÓPTIMA.**

	<b>Rendimiento del Proceso (%)</b>	<b>Contenido de Vitamina C (%)</b>	<b>Actividad de Agua</b>
<b>Estimados</b>	<b>67.698</b>	<b>7.489</b>	<b>0.245</b>
<b>Obtenidos</b>	<b>65.121</b>	<b>7.397</b>	<b>0.252</b>

Fuente: El autor (2012)

#### 5.5. CARACTERIZACION DEL PRODUCTO FINAL

##### 5.5.1. CARACTERISTICAS FISICO-QUIMICAS

La Tabla N° 21 presenta los resultados de las características físico-químicas del jugo de camu-camu en polvo. Los valores encontrados son superiores a los reportados en el jugo, debido al efecto de la deshidratación que eleva la concentración de solutos, dando como resultado un mayor contenido de nutrientes en la muestra.

**TABLA N° 21. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DEL CAMU-CAMU EN POLVO**

COMPONENTES	Media ± DE	
	Base Húmeda	Base Seca
Humedad (g/100g)	2.08 ± 0.08	2.12 ± 0.08
Proteína (g/100g)	1.64 ± 0.08	1.67 ± 0.08
Grasa (g/100g)	0.06 ± 0.01	0.06 ± 0.02
Fibra (g/100g)	0.61 ± 0.06	0.62 ± 0.06
Cenizas (g/100g)	1.00 ± 0.07	1.02 ± 0.07
Carbohidratos (g/100g)	94.61 ± 0.02	96.62 ± 0.02
Acidez (g /100g)	15.02 ± 0.00	15.34 ± 0.00
Azúcares Reductores (g/100g)	32.47 ± 0.42	33.16 ± 0.37
Ácido Ascórbico (mg/100g)	7397.46 ± 28.76	7554.60 ± 26.12
Parámetros de Color (CIELab)		
L*	42.35 ± 0.08	
a*	6.02 ± 0.07	
b*	2.32 ± 0.05	
Actividad de agua	0.256	

**Fuente:** El autor (2012)

La baja humedad residual (2.08%), le confiere cierta estabilidad al producto. Sin embargo, esta baja humedad refleja la aidez por el vapor de agua ambiental, por lo que se debe envasar en el menor tiempo posible. Quek *et al.* (2007), mencionan que a humedades más bajas (1.55%) el jugo de sandía muestra mayor estabilidad a los fenómenos degradativos que podrían ocurrir durante el proceso de secado por atomización y el almacenamiento. Al respecto, Chegini & Ghobadian (2007) y Santa María (2006), reportan valores mayores de humedad de 2 y 3.12 % para el jugo de naranja y el zumo de mora secados por atomización, respectivamente.

El contenido de proteína tuvo un valor de 1.64 %, resultando bajo por efecto de la adición de maltodextrinas (15%), ocasionando la dilución de este componente. Fennema (2000) y Casp & Abril (1997), indican que los procesos de deshidratación generan una desnaturalización de las proteínas por acción del calor facilitada por la presencia de agua.

El contenido de grasa fue de 0.06% siendo este valor bajo debido a que las frutas son pobres en este componente. Estos bajos niveles de grasa permiten una mayor estabilidad en el almacenamiento al minimizar las reacciones de oxidación.

El porcentaje de fibra fue de 0.61%, siendo este valor muy bajo y característico del mínimo contenido en el camu-camu. Concha (2001), reportó un contenido de fibra más elevado (3.3%) para el zumo de papaya secada por atomización. Asimismo, Sotomayor (2000) reportó un contenido de fibra de 2.52% para la pulpa de camu-camu liofilizada

El contenido de cenizas en la investigación fue de 1.0%, siendo este valor mucho menor a lo reportado por Concha (2001), cuyo valor fue de 6.42%, debiéndose ésta diferencia al mayor porcentaje de encapsulante (maltodextrinas) empleado y a la característica sui géneris del camu-camu. Sotomayor (2000) reportó un contenido de cenizas de 2.57% para la pulpa de camu-camu liofilizada.

Por otro lado, los contenidos de carbohidratos encontrados fueron elevados (94.61%), este valor es atribuible a la adición de maltodextrinas (15%) para el secado por atomización y a que el mayor constituyente de las frutas son los carbohidratos.

La acidez resultante mostró un aumento en la concentración de ácido cítrico debido al efecto del secado por atomización, que hace que la concentración de solutos se eleve aumentando la acidez debido a la menor humedad residual en el producto comparado a la materia prima. Sotomayor (2000), reportó un comportamiento similar al utilizar dextrina como encapsulante para la pulpa de camu-camu liofilizada. Al respecto, Adhikari *et al.* (2004) mencionan que las maltodextrinas demostraron ser muy buenos encapsulantes para los azúcares y ácidos orgánicos de bajo peso molecular.

Se encontró 32.47% de azúcares reductores, valor que se incrementó en comparación a la materia inicial, posiblemente debido al efecto del secado por atomización, que hace que la concentración de solutos se eleve aumentando los azúcares reductores y al contenido de maltodextrinas presente en producto final.

Se obtuvo 7397.46 mg/100g (7.40%) de ácido ascórbico en el jugo de camu-camu secado por atomización, reflejando la alta retención de Vitamina C (70.99%). Esto puede ser atribuida a la acción de las maltodextrinas como agente encapsulante, evitando la degradación térmica y oxidación de la Vitamina C. Tonon *et al.* (2008) y Quek *et al.* (2007), también verificaron la acción protectora de las maltodextrinas para el licopeno,  $\beta$ -caroteno y antocianinas en el jugo de sandía y en la pulpa de asaí.

El análisis del color del jugo de camu-camu en polvo presentó valores de L\*, a\* y b\* de 42.35, 6.02y 2.32, respectivamente. El producto tuvo un mayor valor de L\*, pero

valores más bajos de  $a^*$  y  $b^*$  en comparación a la materia inicial (jugo filtrado), lo que equivale a decir que fue más clara, menos roja y menos amarilla. Esto es atribuible a la alta cantidad de maltodextrinas presente en la muestra (15%). Al respecto; Tonon *et al.* (2008), mencionan que el incremento de la temperatura conduce a un aumento de las pérdidas de antocianinas, debido a la alta sensibilidad de estos pigmentos a temperaturas elevadas. Además, Quek *et al.* (2007), verificó que los polvos producidos a bajas temperaturas tienden a aglomerarse, reduciendo la exposición de estos al oxígeno y protegiendo los pigmentos contra la oxidación.

La baja actividad de agua (0.252), le confiere mayor estabilidad al producto ante los fenómenos degradativos que podrían ocurrir durante el almacenamiento. Quek *et al.* (2007), reportan un comportamiento similar, obteniendo actividades de agua entre 0.2-0.29 para el jugo de sandía.

### 5.5.2. ANALISIS MICROBIOLÓGICO

El Tabla N° 22 presenta los resultados del análisis microbiológico del jugo de camu-camu en polvo (condiciones óptimas) y los límites microbiológicos para productos deshidratados.

**TABLA N° 22. ANALISIS MICROBIOLÓGICO DEL CAMU-CAMU EN POLVO.**

ENSAYO	RESULTADOS	LIMITES MICROBIOLÓGICOS*
Numeración Aerobios Mesófilos Viables (UFC/g)	<10	<10 <sup>5</sup>
Numeración de Mohos (UFC/g)	<10	<10 <sup>3</sup>
Numeración de Levaduras (UFC/g)	<10	<10 <sup>2</sup>

\* ITINTEC (1988)

Mossel y Quevedo (1987), indican como rangos de tolerancia microbiológica: aerobios mesófilos viables entre  $10^2$  a  $4 \times 10^6$  UFC/g y para mohos y levaduras de  $10^4$  UFC/g y  $10^3$  UFC/g, respectivamente. Como se observa ninguno de los reportes llega a estos niveles, reflejando haber trabajado con materia prima de calidad, aplicando las buenas prácticas de manufactura (BPM) y sanitización durante el proceso tecnológico. Por lo tanto, en función a los resultados y de acuerdo a las normas de la ICMSF (2000) para frutas deshidratadas, se puede afirmar que el producto obtenido es de buena calidad microbiológica.



## **VI. CONCLUSIONES**

- ❖ El Método de Superficie de Respuesta permitió determinar los parámetros de proceso de secado por atomización del jugo de camu-camu; siendo estos: Concentración de Maltodextrina de 15% y Temperatura de Entrada de Aire de 153°C.
- ❖ El camu-camu en polvo obtenido con los parámetros de proceso de secado por atomización presentó un 65.121% de rendimiento, 7.397% de contenido de vitamina C y 0.252 de actividad de agua.
- ❖ Las características físico-químicas del producto presentaron 2.08% de humedad, 1.64% de proteína, 0.06% de grasa, 0.61% de fibra, 1.00% de cenizas, 94.61% de carbohidratos, 15.02% de acidez (ácido cítrico), 32.47 de azúcares reductores, 0.256 de actividad de agua y 7397.46 mg/100g de vitamina C. La evaluación de color del producto final mostró una mayor luminosidad L\* (42.35) y menores valores de color rojo a\* (6.02) y color amarillo b\* (2.32) en comparación a la materia prima inicial (jugo filtrado).
- ❖ Los reportes microbiológicos del producto se ajustan a las Normas ICMSF para frutas deshidratadas: Numeración de aerobios mesófilos viables <10 UFC/g (< 105 UFC/g), Numeración de Mohos <10 UFC/g (<103 UFC/g) y Numeración de Levaduras <10 UFC/g (<102 UFC/g). Estos resultados indican que se trabajó con materia prima de calidad, aplicando buenas prácticas de manufactura y con un proceso eficiente de atomización.

## **VII. RECOMENDACIONES**

- ❖ Expandir el Modelo de la Superficie de Respuesta, aplicando un Diseño Compuesto Central (Modelo de segundo orden), para la optimización del Secado por atomización del jugo de camu-camu.
- ❖ Estudiar el efecto de las mezclas de diferentes encapsulantes en la retención de Vitamina C, antocianinas (color) y aromas.
- ❖ Determinar la factibilidad técnico-económica para la implementación de una planta de secado por atomización de jugo de camu-camu.
- ❖ Evaluar el tiempo de vida en anaquel del camu-camu atomizado, mediante pruebas aceleradas, considerando la retención de vitamina C, color y actividad de agua como los principales factores de calidad.

## **XIII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

1. **Abdullah, A.; Sulaiman, N.; Aroua, M.; Noor, M. 2007.** Response surface optimization of conditions for clarification of carambola fruit juice using a commercial enzyme. *Journal of Food Engineering*. 81: 65-71 p.
2. **Adhikari, B.; Howes, T.; Bhandari, B.; Troung, V. 2004.** Effect of addition of maltodextrina on drying kinetics and stickiness of sugar and acid-rich foods during convective drying: experiments and modelling. *Journal of Food Engineering*. 62: 53-68 p.
3. **Andrade J.; Galeazzi, M.; Aragão, C. 1994.** Concentración de pigmentos durante la maduración de los frutos de *Myrciaria dubia* Mc Vaugh. In: XIV Congreso Brasileiro de Ciencia y Tecnología de Alimentos, São Paulo. Anales. Sociedad Brasileira de Ciencia y Tecnología de Alimentos. 1994.
4. **AOAC. 1995.** Official Methods of Analysis of AOAC International Agricultural Chemists. 16va. Edición. Vol:1-2.
5. **Badui, S. 2006.** Química de los Alimentos. Editorial Longman Mexicana S.A. México. 3ra. Edición. 758 p.
6. **Bhandari, B.; Datta, N.; Howes, T. 1997.** Problems associated with spray dried sugar-rich foods. *Drying Technology*. 15 (2): 671-684 p.
7. **Bhandari, B.; Hartel, R. 2005.** Phase transitions during food powder production and powder stability. In: ONWULATA, C. Encapsulated and powdered foods. Boca Raton: Taylor & Francis. 261-292 p.
8. **Braverman, J. 1986.** Introducción a la Bioquímica de los Alimentos. Ediciones Omega S.A. Barcelona-España. 1558 p.
9. **Bueno, S.; Lopes, M.; Graciano, R.; Fernández E.; Cruz, C. 2002.** Evaluación de la Calidad de Pulpas de Frutas Congeladas. *Revista Instituto Adolfo Lutz*. 62 (2): 121-126p.
10. **Casp, A.; Abril, J. 1997.** Procesos de conservación de alimentos. Ediciones Mundi-Prensa, S.A. Madrid – España. 580 p.

11. **Camargo, R.; Fonseca, H.; Graner, M.; Prado Filho, L.; Caruso, F.; Andrade, M.; Nogueira, J.; Cantarelli, P.; Lima, U.; Oliveira, A.; Moreira, L. 1984.** Tecnología de Productos Agropecuarios – Alimentos. São Paulo. 298 p.
12. **Charley, H. 1999.** Tecnología de los Alimentos.: Procesos Físicos y Químicos en la Preparación de Alimentos. Editorial Acribia. Zaragoza-España. 767 p.
13. **Chavez, W. 2001.** camu-camu. In: Clay, C.; Clement, C. Selected species and strategies to enhance income generation from Amazonian forest. Rome. FAO: Misc./93/6 Working Paper 17.
14. **Chegini, G.; Ghobadian, B. 2007.** Spray Dryer Parameters for Fruit Juice Drying. World Journal of Agricultural Sciences 3 (2): 230-236 p.
15. **Chitarra, M.; Chitarra, A. 1990.** Post-Cosecha de Frutas y Hortalizas: Fisiología y Manejo. Escuela Superior de Agricultura de Lavras. 293 p.
16. **Chua, K.; Mujumdar, A.; Chou, S.; Hawlader, M.; Ho, J. 2000.** Convective drying of banana, guava and potato pieces: effect of cyclical variations of air temperature on drying kinetics and colour change. Drying Technology 18 (4–5): 907–936 p.
17. **Concha, A. 2001.** Obtención de Polvo de Papaya de Monte (*Carica pubescens*). Tesis para optar el Grado de Magíster Scientiae en Tecnología de Alimentos. Desarrollado en la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM). Lima-Perú. 139 p.
18. **Cornell, J. 2002.** Experiments with Mixtures: Designs Models and Analysis of Mixture Data. Third Edition. John Willey and Sons, Inc. New York. 649 p.
19. **Corzo, O.; Bracho, N.; Vásquez, A.; Pereira, A. 2008.** Optimization of a thin layer drying process for coroba slices. Journal of Food Engineering. 85: 372-380 p.
20. **Coultate, J. 1990.** Manual de Química y Bioquímica de Alimentos. Editorial Acribia. Zaragoza-España. 707 p.
21. **Dennison, D.; Kirk, J. 1978.** Oxygen effect on the degradation of ascorbic acid in a dehydrated system. Journal of Food Science. 43: 609-612 p.
22. **Dib Taxi, M. 2001.** Jugo de camu-camu (*Myrciaria dubia*) microencapsulado a través del secado por atomización. Disertación (Doctorado) Facultad de Ingeniería de Alimentos. Universidad Estadual de Campinas (UNICAMP). Sao Paulo-Brasil. 166 p.

23. Dolinsky, A.; Maletskaya, K.; Snezhkin, Y. 2000. Fruit and vegetable powders production technology on the bases of spray and convective drying methods. *Drying Technology*. 18 (3): 747-758 p.
24. Eren, I.; Kaymak-Ertekin, F. 2007. Microencapsulation of anthocyanin pigments of black carrot (*Daucuscarota* L.) by spray drier. *Journal of Food Engineering*. 79: 344-352 p.
25. Fennema, O. 2000. *Química de los Alimentos*. Editorial Acribia S.A. Zaragoza – España. 1258 p.
26. Francis, F. 1983. *Colorimetry of Foods*. In: Peleg, M.; Bagley, E. *Physical Properties of Foods*. 105-123 p.
27. Guevara, A. 1990. Obtención de Chirimoya (*Annona cherimola*) en Polvo por Atomización. Tesis para optar el Grado de Magíster Scientiae en Tecnología de Alimentos. Desarrollado en la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM). Lima-Perú. 129 p.
28. Heldman, D.; Lund, D. 2007. *Handbook of Food Engineering*. CRC Press. Taylor & Francis Group. 2da Edición. New York-USA. 1038 p.
29. Hornig D.; Moser, U.; Glatthaar, B. 2006. Ascorbic acid. *in: Vitamins*. Eds. 22: 417-433 p.
30. Huapaya, E. 1994. Determinación de la pérdida de Vitamina C durante el procesamiento y almacenamiento de pulpa de camu-camu. Tesis para optar el Título de Ingeniero en Industria Alimentarias. Desarrollado en la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM). Lima-Perú. 212 p.
31. Hunter, R. 1975. Scales for the measurement of colour difference. In: *The Measurements of Appearance*. John Wiley. New York-USA. 133-140 p.
32. ICMSF. 1986. *International Comition Microbiological Specification Food*. Editorial Acribia. Zaragoza-España. 593 p.
33. Inglett, G.; Gelbman, P.; Reineccius, G. 1988. Encapsulation of orange oil - use of oligosaccharides from alpha-amylase modified starches of maize, rice, cassava, and potato. In: Risch, S.; Reineccius, G. (Eds). *Flavor Encapsulation*. American Chemical Society Symposium 370: 29-36 p.



- 34. Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana. 2001.** Sistema de Producción de camu-camu en Restinga. 139 p.
- 35. Jackman, R.; Smith, J. 1992.** Anthocyanins and Betalains. In: Hendry, G; Houghton, J. Natural Food Colorants. New York-USA. AVI.
- 36. Kenyon, M. 1995.** Modified Starch, Maltodextrin, and Corn Syrup solids as wall materials for Food Encapsulation. In: ACS SYMPOSIUM SERIES, n. 590. Encapsulation and Controlled Release of food Ingredients. Washington: American Chemical Society. 214:42-50 p.
- 37. King, W.; Perry, P. 1976.** Modified Starch encapsulating agents offer superior emulsification, film forming, and low surface oil. Food Product Development. Chicago. 10 (10): 54-57 p.
- 38. Maeda, R.; Andrade J. 2003.** Aprovechamiento del camu-camu (*Myrciaria dubia* Mc Vaugh) para la Producción de una Bebida Alcohólica Fermentada. Acta Amazónica. 33(3): 489-496 p.
- 39. Maeda, R.; Pantoja, L.; Yuyama, L.; Chaar, J. 2006.** Determinación de la Formulación y Caracterización de un Néctar de camu-camu (*Myrciaria dubia* Mc Vaugh). Ciencia y Tecnología de Alimentos, Campinas, 26(1): 70-74 p.
- 40. Maeda, R.; Pantoja, L.; Yuyama, L.; Chaar, J. 2007.** Estabilidad del Ácido Ascórbico y Antocianinas en Néctar de camu-camu (*Myrciaria dubia* Mc Vaugh). Ciencia y Tecnología de Alimentos, Campinas, 27(2): 313-316 p.
- 41. Manela-Azulay, M.; Lacerda, C.; Perez, M.; Filgueira, A.; Cuzzi, T. 2003.** Vitamina C. Análisis Brasileños de Dermatología. Río de Janeiro. 78 (3): 265-274 p.
- 42. Montgomery, D. 2002.** Diseños y Análisis de Experimentos. Grupo Editorial Iberoamérica. 2da Edición. México. 589 p.
- 43. Pantastico (1984).Pantastico, B.1975.** Fisiología de la Post-Recolección, Manejo y Utilización de Frutas y Hortalizas Tropicales y Subtropicales. Compañía Editorial Continental S.A. México.
- 44. Pighinelli, A.; Park, K.; Rauen, A.; De Oliveira, R.; Bevilaquua, G.; Filho, J. 2008.** Optimización del Prensado en Frio de Granos de Amendoim en Prensa Continua. Ciencia. Tecnología. Alimentos, Campinas, 28 (suplemento): 1-6 p.

45. **Pighinelli, A.; Park, K.; Rauen, A.; De Oliveira, R. 2009.** Optimización del Prensado de Granos de Girasol y su Caracterización. *Revista Brasileira de Ingeniería Agrícola y Ambiental*. Campinas, 13(1): 63–67 p.
46. **Potter, N.; Hotchkiss, J. 1998.** Ciencia de los alimentos. Editorial Acribia. Zaragoza-España. 533 p.
47. **Primo, O. 1997.** Química de los Alimentos. Editorial Síntesis S.A. Madrid – España. 461 p.
48. **Quek, Q.; Chok, N.; Swedlund, P. 2007.** The physicochemical properties of spray-dried watermelon powders. *Chemical Engineering and Processing* 46: 386–392 p.
49. **Reineccius, G. 1991.** Carbohydrates for flavor encapsulation. *Food Technology*. 46 (3): 144 – 152 p.
50. **Roos, Y. 1995.** Phase transitions in foods. San Diego: Academic Press. 360 p.
51. **Ruiz, A. 1969.** Especies Frutales Nativas de la Selva del Perú. Estudio Botánico y de Propagación por semillas. Tesis para optar Título de Ing° Agrónomo. Desarrollado en la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM). Lima-Perú. 167 p.
52. **Santa María (2006),** Determinación de la Influencia de las Condiciones de Proceso en la retención de Antocianina a Partir de Mora Secada por Atomización. Tesis para optar el Grado de Magíster Scientiae en Tecnología de Alimentos. Desarrollado en la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM). Lima-Perú. 102 p.
53. **Schuler, S.; Schuler, E. 1973.** Preserving the fruits of the Herat. The Dial Press. New York. 234 p.
54. **Sharma, S.; Mulvaney, S.; Rizvi, S. 2003.** Ingeniería de Alimentos. Operaciones Unitarias y Prácticas de Laboratorio. Editorial Limusa S.A. México. 358 p.
55. **Shi, Q.; Xue, C.; Zhao, Y.; Li, Z.; Wang, X. 2008.** Optimization of processing parameters of horse mackerel (*Trachurus japonicus*) dried in a heat pump dehumidifier using response surface methodology. *Journal of Food*. 87: 74-81 p.
56. **Singh, P.; Heldman, D. (1997).** Introducción a la Ingeniería de los alimentos. Editorial Acribia. Zaragoza – España. 544 p.

- 57. Solms, J. 1986.** Interaction of non-volatile and volatile substances in foods. In: Birch, G.; Lindley, M. (Eds) Interactions of food components. London: Elsevier. 189p. Apud Shahidi, F.; Han, X. 1993. Encapsulation of food ingredients. Critical reviews in food science and nutrition. Boca Raton. 33 (6): 501-547 p.
- 58. Sotomayor, P. 2000.** Influencia de los Encapsulantes y las Temperaturas de Secado en la Calidad del camu-camu (*Myrciaria dubia*) Liofilizado. Tesis para optar el Título de Ingeniero en Industria Alimentarias. Desarrollado en la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM). Lima-Perú. 149 p.
- 59. Tonon, R.; Brabet, C.; Hubinger, M. 2008.** Influence of process conditions on the physicochemical properties of açai (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced by spray drying. Journal of Food Engineering. 88: 411-418 p.
- 60. Travaglini, D.; Gasparino, J.; Aguirre, G. 1999.** Equipos de Secado. In: Deshidratación de frutas y hortalizas. Campinas. Instituto de Tecnología de alimentos. Manual Técnico. 2: 2-29 p.
- 61. Valgas, L. 2007.** Influencia de las variables de procesamiento sobre las propiedades eléctricas de varistores de SnO<sub>2</sub> atomizados vía "spray dryer". Tesis de Doctorado. Universidad Federal de Paraná, Curitiba-Brasil. 68 p.
- 62. Villachica, H. 1996.** Cultivo del camu-camu (*Myrciaria dubia* H.B.K. Mc Vaugh) en la Amazonía peruana. Tratado de Cooperación Amazónica. Secretaría Pro Tempore. Lima, Perú. 95 p.
- 63. Walingo, K. 2005.** Role of Vitamin C (ascorbic acid) on Human Health- a review. African Journal of Food Agriculture and Nutritional Development. 5(1):1-14 p.
- 64. Zanatta, C. 2004.** Determinación de la composición de carotenoides y antocianinas de camu-camu (*Myrciaria dubia*). Tesis para optar el Grado de Magister Scientiae en Ingeniería de Alimentos Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Sao Paulo-Brasil. 144p.
- 65. Zanatta, C.; Mercadante, A. 2007.** Carotenoid composition from the Brazilian tropical fruit camu-camu (*Myrciaria dubia*), *Food Chemistry*. 101: 1526-1532 p.
- 66. Zapata, S.; Dufour, J. 1993.** camu-camu *Myrciaria dubia* (HBK) Mc Vaugh: Chemical composition of fruit. *J. Food Sci.* 61: 349-351 p.