

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN – TARAPOTO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**



**TESIS**

**SECADO DE PULPA DE CAMU CAMU (*Myrciaria dubia* HBK) MEDIANTE  
VENTANA REFRACTIVA**

Presentada por:

**Bach. DELFIN ALEX DOMINGUEZ CASTILLO**

Para Optar el Título Profesional de:

**INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

Asesor

**Ing. Dr. Oscar Wilfredo Mendieta Taboada**

**Tarapoto – Perú**

**2017**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN – TARAPOTO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**

**TESIS**

**SECADO DE PULPA DE CAMU CAMU (*Myrciaria dubia* HBK) MEDIANTE  
VENTANA REFRACTIVA**

Presentada por:

**Bach. DELFIN ALEX DOMINGUEZ CASTILLO**

Para Optar el Título Profesional de:

**INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

SUSTENTADA Y APROBADA ANTE EL SIGUIENTE JURADO

El cinco de setiembre del dos mil dieciseis



-----  
**Ing. Dr. Anibal Quinteros García**  
**PRESIDENTE**



-----  
**Ing. Dra. Mari Luz Medina Vivanco**  
**SECRETARIO**



-----  
**Ing. M.Sc. Enrique Navarro Ramírez**  
**MIEMBRO**



-----  
**Ing. Dr. Oscar Wilfredo Mendieta Taboada**  
**ASESOR**

**TARAPOTO – PERÚ**

**2016**

**Formato de autorización NO EXCLUSIVA para la publicación de trabajos de investigación, conducentes a optar grados académicos y títulos profesionales en el Repositorio Digital de Tesis**

**1. Datos del autor:**

|                      |                                |                     |
|----------------------|--------------------------------|---------------------|
| Apellidos y nombres: | Dominguez Castillo Delfin Alex |                     |
| Código de alumno :   | 092111                         | Teléfono: 928161021 |
| Correo electrónico : | Yair_alexfox@hotmail.com       | DNI: 45553152       |

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

**2. Datos Académicos**

|                         |                           |
|-------------------------|---------------------------|
| Facultad de:            | Ingeniería Agroindustrial |
| Escuela Profesional de: | Ingeniería Agroindustrial |

**3. Tipo de trabajo de investigación**

|                                    |     |                          |     |
|------------------------------------|-----|--------------------------|-----|
| Tesis                              | (x) | Trabajo de investigación | ( ) |
| Trabajo de suficiencia profesional | ( ) |                          |     |

**4. Datos del Trabajo de investigación**

|                     |  |
|---------------------|--|
| Título :            | Secado de pulpa de Camu Camu ( <i>Myrciaria dubia</i> HBK) mediante Ventana refractiva |
| Año de publicación: | 2017   |

**5. Tipo de Acceso al documento**

|                       |     |         |     |
|-----------------------|-----|---------|-----|
| Acceso público *      | (x) | Embargo | ( ) |
| Acceso restringido ** | ( ) |         |     |

Si el autor elige el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, una licencia **No Exclusiva**, para publicar, conservar y sin modificar su contenido, pueda convertirla a cualquier formato de fichero, medio o soporte, siempre con fines de seguridad, preservación y difusión en el Repositorio de Tesis Digital. Respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:

|  |
|--|
|  |
|  |

**6. Originalidad del archivo digital.**

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.



## 7. Otorgamiento de una licencia **CREATIVE COMMONS**

Para investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia *Creative Commons*, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Digital de Tesis, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12º del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI "**Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Repositorio Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA**".



Firma del Autor

---

## 8. Para ser llenado por la Biblioteca Central

Fecha de recepción del documento por el Sistema de Bibliotecas:

27/12/2017



Firma de Unidad de Biblioteca

**\*Acceso abierto:** uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

**\*\* Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.

## DEDICATORIA

*A mis padres amados: **ROGELIO** y **ANITA** por su constante apoyo, dedicación y paciencia; quienes me orientaron, motivaron y brindaron siempre muestras de interés por ver alcanzadas las metas que me tracé durante este periodo.*

*A mis hermanas: **Leidy** y **Maryory** por darme alegría, confianza y ser mis compañeras siempre.*

*A mis abuelos, **Federico** y **Gabriela**, quienes con su ejemplo, paciencia e infinito amor, me ha inculcado a ser la persona humana, integra, justa y humilde que soy hoy en día.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Al **Ing. Dr. Oscar Wilfredo Mendieta Taboada**, por su disponibilidad, guía y asesoramiento en el desarrollo del presente trabajo de investigación mi eterno agradecimiento.

Al **Ing. Richer Garay Montes**, quien fue participe como coasesor, donde gracias a su motivación y apoyo, el análisis de resultados fue más eficaz.

A la señora **Dolly Flores y Guido Saavedra**, encargados de los respectivos laboratorios de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial por brindarme todas las facilidades para obtener materiales que fueron necesarios en los análisis respectivos de mi trabajo de investigación..

A todos los docentes de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial y que ayudaron a mi formación profesional.

A todas aquellas personas que de una u otra forma colaboraron en el desarrollo del presente trabajo de investigación.

*A todos muchas Gracias...*

# ÍNDICE GENERAL

|   | Pág.      |
|---|-----------|
| <b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....                                      | <b>1</b>  |
| <b>1.1. Objetivos</b> .....                                       | <b>2</b>  |
| 1.1.1. Objetivo general.....                                      | 2         |
| 1.1.2. Objetivos específicos.....                                 | 2         |
| <b>II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b> .....                           | <b>3</b>  |
| <b>2.1. Camu Camu (<i>Myrciaria dubia</i> HBK Mc Vaugh)</b> ..... | <b>3</b>  |
| 2.1.1. Origen y distribución .....                                | 3         |
| 2.1.2. Clasificación taxonómica.....                              | 4         |
| 2.1.3. Ecología y adaptación .....                                | 4         |
| 2.1.4. Morfología general .....                                   | 4         |
| 2.1.5. Manejo del cultivo y cuidados culturales .....             | 5         |
| 2.1.6. Cosecha y pos-cosecha. ....                                | 7         |
| 2.1.7. Producción.....  | 7         |
| 2.1.8. Composición química.....                                   | 8         |
| 2.1.9. Usos. ....   | 8         |
| <b>2.2. Procesos de transformación</b> .....                      | <b>9</b>  |
| 2.2.1. Secado.....  | 9         |
| 2.2.1.1. Actividad de agua (aw) .....                             | 11        |
| 2.2.1.2. Contenido de humedad.....                                | 13        |
| 2.2.1.3. Modificación del Color.....                              | 14        |
| <b>2.3. Análisis sensorial</b> .....                              | <b>15</b> |
| <b>2.4. Superficie de respuesta</b> .....                         | <b>15</b> |
| <b>2.5. Deshidratación por ventana refractiva</b> .....           | <b>16</b> |
| <b>III. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....                            | <b>20</b> |
| <b>3.1. Lugar de ejecución</b> .....                              | <b>20</b> |
| <b>3.2. Materia prima</b> .....                                   | <b>20</b> |
| <b>3.3. Equipos y Materiales de Laboratorio</b> .....             | <b>21</b> |
| 3.3.1. Equipos .....  | 21        |
| 3.3.2. Materiales .....   | 21        |
| 3.3.3. Reactivos.....   | 22        |
| <b>3.4. Metodología Experimental</b> .....                        | <b>22</b> |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>3.5. Flujograma de secado de pulpa de camu camu por ventana refractiva.</b> .....   | <b>25</b> |
| <b>3.6. Descripción de las operaciones del proceso</b> .....   | <b>26</b> |
| 3.6.1.Materia prima. ....  | 26        |
| 3.6.2.Clasificación. ....  | 26        |
| 3.6.3.Lavado.....  | 26        |
| 3.6.4.Estrujado.....   | 26        |
| 3.6.5.Tamizado.....  | 26        |
| 3.6.6.Pulpa de camu camu. ....   | 27        |
| 3.6.7.Adición de coadyuvante de secado. ....   | 27        |
| 3.6.8.Secado por Ventana Refractiva. ....  | 27        |
| 3.6.9.Envasado.....  | 28        |
| 3.6.10.Almacenamiento.....   | 28        |
| <b>3.7. Métodos de Control</b> .....   | <b>28</b> |
| 3.7.1.Controles en el fruto .....  | 28        |
| <b>3.7.1.1.Rendimiento de Pulpa</b> .....  | <b>28</b> |
| <b>3.7.1.2.Caracterización Físico - Química</b> .....  | <b>28</b> |
| <b>3.7.1.3.Análisis físico - químico de pulpa de camu camu.</b> .....  | <b>28</b> |
| <b>3.7.2.Controles durante el proceso de deshidratado</b> .....  | <b>29</b> |
| <b>3.7.2.1.Temperatura</b> .....   | <b>29</b> |
| <b>3.7.2.2.Modificación del color</b> .....  | <b>30</b> |
| <b>3.7.3.Análisis proximal en el producto terminado.</b> .....   | <b>30</b> |
| <b>3.7.4.Análisis microbiológico</b> .....   | <b>30</b> |
| <b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES</b> .....  | <b>31</b> |
| <b>4.1. Rendimiento del fruto de camu camu (<i>Myrciaria dubia</i> HBK).</b> .....   | <b>31</b> |
| <b>4.2. Características físicas de la pulpa de camu camu (<i>Myrciaria dubia</i> HBK).</b> .....                             | <b>31</b> |
| <b>4.3. Caracterización físico - química de la pulpa de camu camu (<i>Myrciaria dubia</i> HBK).</b> .....                    | <b>32</b> |
| <b>4.4. Variación del Color en el Secado</b> .....   | <b>33</b> |
| <b>4.5. Contenido de ácido ascórbico en los tratamientos.</b> .....  | <b>35</b> |
| <b>4.5.1.Contenido de ácido ascórbico en pulpa de camu camu fresca y deshidratada.</b> .....                                 | <b>35</b> |
| <b>4.6. Análisis físico - químico de la pulpa de camu camu (<i>Myrciaria dubia</i> HBK), fresco y deshidratado.</b>          | <b>37</b> |
| <b>4.7. Balance de materia en la obtención pulpa de camu camu seca por ventana refractiva.</b> ...                           | <b>39</b> |
| <b>4.8. Análisis Sensorial de pulpa de camu camu (<i>Myrciaria dubia</i> HBK) deshidratada por Ventana Refractiva.</b> ..... | <b>40</b> |
| 4.8.1.Color.....   | 40        |



|                                  |           |
|----------------------------------|-----------|
| 4.8.2.Olor .....                 | 41        |
| 4.8.3.Sabor .....                | 41        |
| 4.8.4.Apariencia general. ....   | 42        |
| <b>V. CONCLUSIONES.....</b>      | <b>44</b> |
| <b>VI. RECOMENDACIONES .....</b> | <b>45</b> |
| <b>VII. BIBLIOGRAFÍA.....</b>    | <b>46</b> |
| <b>VIII. ANEXOS.....</b>         | <b>51</b> |

## ÍNDICE DE FIGURAS

| <b>Fig. Nº</b> |  | <b>Pág.</b> |
|----------------|--|-------------|
| 1.             | Planta y fruto de camu camu.....   | 3           |
| 2.             | Frutos de camu camu en diferentes estados de madurez.....  | 7           |
| 3.             | Contenido de humedad en función del tiempo de secado.....  | 14          |
| 4.             | Esquema de un secador de ventana refractiva por lotes.....   | 16          |
| 5.             | Esquema de un secador continuo de ventana refractiva.....  | 17          |
| 6.             | Frutos de camu camu.....   | 20          |
| 7.             | Diseño compuesto central rotatable.....  | 24          |
| 8.             | Diagrama de flujo de secado de pulpa de camu camu por ventana refractiva.....  | 25          |
| 9.             | Equipo secador de ventana refractiva por lotes.....  | 27          |
| 10.            | Variación del pH y de la acidez de la pulpa de camu camu después del secado por ventana refractiva.....                                | 33          |
| 11.            | Superficie de respuesta de la concentración de vitamina C en función de la concentración de sólidos y de la temperatura de secado..... | 37          |
| 12.            | Diagrama de flujo y balance de masa en el proceso de secado de pulpa de camu camu mediante ventana refractiva.....                     | 39          |
| 13.            | Superficie de respuesta en el color de la pulpa de camu camu deshidratada.....   | 40          |
| 14.            | Superficie de respuesta en el olor de la pulpa de camu camu deshidratada.....  | 41          |
| 15.            | Superficie de respuesta en el sabor de la pulpa de camu camu deshidratada.....   | 42          |
| 16.            | Superficie de respuesta en la apariencia general de la pulpa de camu camu deshidratada.....  | 43          |
| 17.            | Informe de Ensayo bacteriológico realizado en el Laboratorio referencial de San Martín.....  | 51          |
| 18.            | Pulpa deshidratada de camu camu ( <i>Myrciaria dubia</i> H.B.K) por ventana refractiva.....  | 53          |

## ÍNDICE DE CUADROS

| CUADRO N°   | Pág. |
|---|------|
| 1. Contenido de vitamina C (mg/100 g) en la pulpa de algunas frutas.....  | 8    |
| 2. Tratamiento del estudio.....   | 22   |
| 3. Matriz de experimentos de un diseño factorial completo $2^3$ , plan de experimentación y respuestas medidas..... | 23   |
| 4. Rendimiento de pulpa de Camu camu.....   | 31   |
| 5. Características físicas del fruto de Camu Camu.....  | 32   |
| 6. Características físico - químicas de la pulpa de camu camu fresca y deshidratada.....                            | 33   |
| 7. Comparación de los parámetros del color en producto fresco y seco.....   | 34   |
| 8. Contenido de vitamina C en pulpa de camu camu en fresco y deshidratado.....                                      | 36   |
| 9. Análisis de la Varianza del contenido de vitamina C.....   | 37   |
| 10. Análisis físico - químico de camu camu fresco y deshidratado (por 100 g. de pulpa de camu camu).....            | 38   |
| 11. Ficha de encuesta para pulpa de camu camu deshidrata por el método de ventana refractiva.....                   | 52   |
| 12. Cuadro de % de adición de encapsulante.....   | 53   |
| 13. Matriz de ensayo previo al adecuado.....  | 54   |
| 14. ANVA para el color.....   | 54   |
| 15. ANVA para el olor.....  | 55   |
| 16. ANVA para el sabor.....   | 55   |
| 17. ANVA para apariencia general.....   | 55   |

## RESUMEN

El camu camu es un producto natural considerado como alimento de alto valor nutritivo por el contenido de vitamina C. El manejo, condiciones de extracción, beneficio y la reducción del contenido de humedad del producto son factores que inciden en la vida útil y calidad misma del producto. En este trabajo de investigación se ha buscado obtener pulpa deshidratada de camu camu por el método de secado de ventana refractiva. Las muestras de camu camu fueron colectadas en la zona de Yurimaguas, se despulparon y fueron deshidratadas. El secado se realizó a temperaturas de 73, 75, 80, 85 y 87°C y concentraciones de sólidos 11, 12, 14, 16 y 17%. Se evaluaron las características físicas del fruto de camu camu, en la pulpa de camu camu se efectuó análisis físico-químico y color, mientras que en el producto final se analizaron los atributos de color, sabor, olor y apariencia general mediante análisis de superficie de respuesta. En el proceso de secado por ventana refractiva, el tratamiento que permitió obtener la mayor retención de vitamina C (84.5%) estuvo dado por temperatura de 85°C y 12% de sólidos, así mismo esta muestra presentó mejores características en cuanto al sabor, color, olor y apariencia general respecto a los demás tratamientos. La fracción de ácido ascórbico en la pulpa deshidratada alcanzó un valor final de 1,243 mg de vitamina C/100 gramos de pulpa deshidratada, frente a 1,471 mg de vitamina C/100 gramos de pulpa fresca, lo cual representa una pérdida de 15.5% del contenido inicial; quedando demostrado que el secado por ventana refractiva permite conservar más del 80 % del contenido de ácido ascórbico.

Palabras clave:

Secado, deshidratación, camu camu, ventana refractiva.

## **ABSTRACT**

The camu camu is a natural product considered as high nutritional value food for the content of vitamin C. The handling, the conditions of extraction, the gain and the reduction of the moisture content of the product are the factors that affect the useful life and the quality of the product itself. In this research work, the dehydrated pulp of the camu camu has been obtained by the drying method of the refractive window. The camu camu samples were collected in the Yurimaguas area, pulped and dehydrated. Drying at temperatures of 73, 75, 80, 85 and 87 ° C and solid concentrations 11, 12, 14, 16 and 17%. The physical characteristics of the camu camu crop were evaluated, in the pulp of camujo physical-chemical analysis and color was carried out, while in the final product the attributes of color, taste, smell and general appearance were analyzed by response surface analysis. In the process of drying by refractive window, the treatment that allowed to obtain the concentration of vitamin C (84.5%) was given by temperature of 85 ° C and 12% solids. color, smell and general appearance compared to other treatments. The fraction of ascorbic acid in the dehydrated pulp reached a final value of 1,243 mg of vitamin C / 100 grams of dehydrated pulp, compared to 1,471 mg of vitamin C / 100 grams of fresh pulp, representing a loss of 15.5% of the initial content; being that it can be dried by a refractive window, more than 80% of the ascorbic acid content can be preserved.

Keywords:

Drying, dehydration, camu camu, refractive window.

## I. INTRODUCCIÓN

El camu camu es una especie nativa de la cuenca amazónica y que se encuentra distribuida ampliamente en la Amazonía continental; su fruto se caracteriza principalmente por su alta concentración de ácido ascórbico, que puede llegar según su procedencia hasta 3000 mg/100g, por tal motivo es que se la considera como una de las especies de mayor potencial económico de la región amazónica (Correa, 2001).

El Camu camu es una planta de las que se derivan productos naturales cuya comercialización es atractiva en el exterior, tanto en el mercado Nacional como en el extranjero (Taira, 2006).

A pesar de que ha sido comercializado en el mercado dietético de los Estados Unidos durante muchos años, aún no se ha desarrollado todo su potencial, y continúa siendo desconocido entre una gran cantidad de fabricantes. Si bien muchos han escuchado hablar del Camu camu (algunas empresas inclusive lo comercializan), la mayoría no está familiarizada con sus potenciales aplicaciones y no sabe en qué productos puede derivar. El camu camu al tener el mayor contenido de vitamina C, resulta de especial interés para la industria de productos naturales que necesitan una fuente natural de la misma. También es rico en hierro, niacina, riboflavina y fósforo, así como en otros aromáticos volátiles y fitoquímicos de interés (Taira, 2006).

El secado de alimentos ha sido ampliamente utilizado desde principios de la humanidad, proporcionando al hombre una posibilidad de subsistencia en épocas de carencia de alimentos. La deshidratación es una de las técnicas ampliamente utilizada para la conservación de alimentos, sin embargo el deshidratado por ventana refractiva es un proceso poco estudiado, pero que ha tomado auge en estos últimos años. La aplicación de este tipo de tecnología simple y de bajo costo, brinda la posibilidad de preservar alimentos altamente perecederos, como el camu camu (Abonyi et al. 2002).



## **1.1. Objetivos**

### **1.1.1. Objetivo general**

- ✓ Obtener pulpa deshidratada de camu camu por el método de secado de ventana refractiva.

### **1.1.2. Objetivos específicos**

- ✓ Determinar las condiciones adecuadas de procesamiento de secado por ventana refractiva (temperatura, concentración de sólidos (sólidos iniciales + encapsulante) de pulpa de camu camu.
- ✓ Evaluar el efecto del empleo de agente encapsulante (goma arábica) sobre las características sensoriales y contenido de vitamina C de pulpa de camu camu deshidratada por el método de secado de ventana refractiva.
- ✓ Efectuar la caracterización físico-química del producto deshidratado por el método de secado de ventana refractiva.

## II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Camu Camu (*Myrciaria dubia* HBK Mc Vaugh).



**Figura 1. Planta y fruto de camu camu. (Correa, 2001).**

#### 2.1.1. Origen y distribución

El camu camu es una especie originaria de la región amazónica, crece naturalmente en las orillas de los ríos, pequeños charcos y cursos menores de agua en esta región. Se encuentra en estado silvestre en forma de rodales naturales en Perú, Brasil, Colombia, Venezuela y Ecuador (Correa, 2001).

Su mayor concentración y diversidad se encuentra en la amazonia peruana. La región de Loreto, ubicada en el Perú, presenta las condiciones medio ambientales ideales para el crecimiento y desarrollo de este frutal, es así que las mayores poblaciones naturales de camu camu encontradas, se ubican en esta región (Correa y Aldana, 2007).

### 2.1.2. Clasificación taxonómica

La clasificación taxonómica es la siguiente (Correa y Aldana, 2007):

|          |                            |
|----------|----------------------------|
| Tipo:    | Fanerógamas                |
| Subtipo: | Angiospermas               |
| Clase:   | Dicotiledóneas             |
| Orden:   | Myrtales                   |
| Familia: | Myrtaceae                  |
| Género:  | <i>Myrciaria</i>           |
| Especie: | <i>dubia</i> HBK Mc Vaugh. |

La especie *Myrciaria dubia* H.B.K. Mc Vaugh es conocida con los siguientes nombres comunes: camu camu en Ecuador y Perú; camo camo, cacari y arazá de agua en Brasil (Taira, 2006).

### 2.1.3. Ecología y adaptación

El camu camu es tolerante a la inundación y puede quedar totalmente sumergido en el agua cuatro a cinco meses. En estas zonas la precipitación pluvial está entre 1.700 a 4.000 mm/año, la temperatura promedio en 25°C o más, con mínimas medias anuales superiores a 20° C (Mendoza, 2006).

Sin embargo, se adapta a suelos con buen drenaje y regímenes hídricos con sequías de hasta dos meses. Tolera bien los suelos ácidos de baja fertilidad, aunque sus rendimientos son mayores cuando la distribución de las lluvias y la fertilidad del suelo son mejores (FAO y AGRONET, 2004).

### 2.1.4. Morfología general

El camu camu es una planta arbustiva arborescente perenne de crecimiento indeterminado. Por su arquitectura se distinguen tres tipos de

plantas: tipo columnar que se caracteriza por tener poca o nula ramificación; tipo intermedio, cuya ramificación está a una altura de 50 a 70 cm del nivel del suelo; y, el tipo copa abierta o cónica, que es la planta ideal, tiene muchas ramificaciones desde el nivel del suelo que forman una gran copa, con muchas ramas fructíferas (Correa y Aldana, 2007).

Las hojas varían entre 4,5 y 12,0 cm de longitud y el ancho entre 1,5 y 4,5 cm; tienen el ápice muy puntiagudo y la base redondeada, a menudo algo simétrico. Las inflorescencias son axilares, varias de ellas emergen del mismo punto, con cuatro flores subsésiles, dispuestas en dos pares. Las bractéolas son anchamente aovadas y de ápice redondeado. Los pétalos están en número de cuatro, son de color blanco, de 3 a 4 mm de largo, aovados, cóncavos, glandulosos y ciliados (Mendoza, 2006).

Los frutos son bayas de color rosado hasta granate oscuro, presentan cuatro estados de maduración, verde (0 % de color granate), verde pintón (25 a 50 % de coloración granate), pintón (50 a 75 % de coloración granate) y el estado maduro (mayor de 75 % de coloración granate). El peso del fruto varía en rangos que van desde 2 a 4 gramos. Las semillas son de color marrón, aplanadas cubiertas por fibrillas de color blanco (James y Penn, 2006).

#### **2.1.5. Manejo del cultivo y cuidados culturales**

El éxito de la plantación se inicia con el empleo de una buena semilla, para lo cual seleccionan plantas con buenas características agronómicas: arquitectura de la planta tipo copa o cónica, libre de enfermedades y de alto potencial de rendimiento (Correa, 2001).

Las semillas se encuentran en número de uno a tres en cada fruto y tienen viabilidad mayor a 90% cuando recién se separan del fruto. Los frutos que van a ser utilizados para obtener semillas deben presentar el estado de maduración de fruto maduro (100 % de coloración rojiza en la cáscara) (Correa y Aldana, 2007; Mendoza, 2006).

Para separar la semilla del fruto se estruja o se parte con los dedos. La pulpa adherida a la semilla debe ser lavada con abundante agua. Las semillas lavadas se ponen a orear en la sombra por una hora, luego se clasifican en grandes y medianas; se eliminan las semillas pequeñas y las picadas (FAO y AGRONET, 2004).

Según los parámetros señalados, la semilla está apta para iniciar su proceso de germinación, que se puede realizar con el empleo del método de embolsado o por el método estratificado con aserrín como sustrato (Correa, 2001).

La semilla seleccionada se lleva a una cama germinadora en campo, diseñada para tal fin. Se necesita una superficie de  $2 \text{ m}^2$ , para colocar 1 kg de semillas (1.300) semillas; con esta cantidad de semilla se obtiene el número de plántulas necesarios para trasplantar 1 hectárea en campo (Rubio, 2000).

Cuando las plántulas alcanzan 20 cm de altura (2 meses de edad aproximadamente), son extraídas para ser trasplantadas a camas de almácigo. Las plántulas se siembran a 10 cm entre hileras y 10 cm entre plantas. Las plantas alcanzan 70 cm de altura entre los seis a ocho meses, después de lo cual son llevadas a la injertera (Correa y Aldana, 2007).

En la injertera, las plantas se siembran a 60 cm entre hileras y 40 cm entre plantas. Las plantas estarán listas para injertarse a los cuatro meses del trasplante, después de los cuales deben quedar en la injertera durante seis a ocho meses, hasta tener la poda de formación y quedar aptas para el trasplante al campo definitivo. El injerto que se utiliza es el de astilla, las yemas se toman de las plantas seleccionadas por su alta productividad, que se encuentra en 25 kg fruta/planta/año (Rubio, 2000).

El distanciamiento de siembra recomendado para el campo definitivo es de 4m entre hilera y 3m entre plantas. El trasplante se realiza a raíz

desnuda, las plantas injertadas deben recibir la primera poda de formación en el vivero y la segunda en campo definitivo, durante el primer año de plantación. Las malezas deben ser eliminadas periódicamente, se recomienda el uso de coberturas como el *Arachis pintoi*, en los suelos no inundables (FAO y AGRONET, 2004).

#### **2.1.6. Cosecha y pos-cosecha.**

La cosecha de los frutos se realiza de forma manual. Si los frutos son destinados a la comercialización, deben alcanzar el estado de maduración de “pintón” (50 a 75% de coloración granate); si los frutos son destinados para la obtención de semilla para propagación deben estar completamente maduros (100% de coloración granate) (Correa y Aldana, 2007).



**Figura 2: Frutos de camu camu en diferentes estados de madurez. (Correa y Aldana, 2007).**

Inmediatamente después de cosechados los frutos, se debe proceder al embalaje, se debe utilizar recipientes con una capacidad no mayor a 10 kg para evitar el deterioro. El fruto cosechado es bastante perecedero, por lo que se debe proteger del sol y de la lluvia, de lo contrario la pulpa se deshace y la cáscara pierde su color granate debido al proceso de oxidación (Rubio, 2000).

#### **2.1.7. Producción.**

En plantaciones establecidas, el camu camu inicia su producción a los tres años, cuando se utiliza plantas injertadas el periodo se acorta de uno y



medio a dos años después del trasplante. Los rendimientos son del orden de 100 a 300 kg/ha (Correa, 2001).

### 2.1.8. Composición química.

La composición química del camu camu en 100 g de pulpa es la siguiente: agua 94,4 g, proteína 0,5 g, carbohidratos 4,7 g, grasa 0,1 g, ceniza 0,2 g, fibra 0,6 g, fósforo 17,0 mg, calcio 27,0 mg, hierro 0,5 mg, tiamina 0,001 mg, riboflavina 0,04 mg, niacina 0,062 mg, ácido ascórbico total 2.994 mg (FAO Y AGRONET, 2004).

La principal característica de esta fruta es su alto contenido de ácido ascórbico o vitamina C, según reporta la bibliografía es la más alta con relación a otras frutas conocidas en el planeta. Comparada con la naranja, proporciona 30 veces más vitamina C, 10 veces más hierro, 3 veces más niacina, dos veces más riboflavina, y cincuenta veces más fósforo (Alimentación Sana, 2008).

En el Cuadro 1 se presenta el contenido de vitamina C en algunas frutas.

**Cuadro 1: Contenido de vitamina C (mg/100 g) en la pulpa de algunas frutas.**

| <b>Fruta</b> | <b>Ácido ascórbico (mg)</b> |
|--------------|-----------------------------|
| Piña         | 20                          |
| Maracuyá     | 22                          |
| Fresa        | 42                          |
| Limón        | 44                          |
| Guayaba      | 60                          |
| Naranja      | 92                          |
| Casho        | 108                         |
| Acerola      | 1.300                       |
| Camu camu    | 2.780                       |

Fuente: Alimentación Sana (2008)

### 2.1.9. Usos.

La industrialización a pequeña escala se realiza en la fabricación de mermeladas, helados y refrescos. La pulpa y el néctar sufren cambios en el color, el olor y el sabor cuando son enlatados y conservados al medio

ambiente, por lo que se recomienda contar con un sistema de congelamiento (FAO y AGRONET, 2004).

El congelamiento de la pulpa con o sin refinación, se debe realizar a  $-18^{\circ}\text{C}$ , ya que permite conservarla por períodos prolongados. La comercialización de la pulpa puede hacerse en bolsas de polietileno, llenadas al vacío, congelada y con indicaciones de la cantidad de azúcar y agua por agregar (Rubio, 2000).

Debido a su alta acidez, la pulpa no es apropiada para preparar mermeladas puras, sino que se debe mezclar con otras frutas. Se elaboran vinos y vinagres, así como en la línea de confitería. Su mayor importancia radica en constituir materia prima para la industria farmacéutica y cosmetología, ya que sus frutos tienen alto contenido de vitamina C (FAO y AGRONET, 2004; Correa, 2001).

Por su alto contenido de ácido ascórbico, tiene múltiples aplicaciones en la industria de la medicina, es indispensable para la elaboración y mantenimiento del colágeno, ayuda en la cicatrización de heridas, quemaduras y encías sangrantes; favorece la absorción y almacenamiento de hierro; es antioxidante; disminuye la posibilidad de formación de trombos en los vasos sanguíneos; ayuda a combatir las enfermedades virales y bacterianas; tiene un papel relevante en el metabolismo del calcio; evita la formación de agentes cancerígenos y favorece la disminución de colesterol en la sangre, entre otros (Taira, 2006).

## **2.2. Procesos de transformación**

El proceso de transformación comprende:

### **2.2.1. Secado**

El principio de secado es el de disminuir la disponibilidad de agua para las reacciones enzimáticas y de crecimiento microbiano mediante la eliminación de agua libre de los productos alimenticios. Otro de los objetivos del proceso de secado es la reducción de volumen y el peso global en la elaboración de alimentos útiles (Palou et al., 1993).

El secado significa la remoción de cantidades de agua de un cierto material. El término secado se refiere a la eliminación de líquidos orgánicos (Geankoplis, 1998). Los datos que se obtienen de un experimento de secado por lotes generalmente se expresan como peso total de sólidos húmedos a diferentes tiempos de “t” horas en el período de secado. La velocidad de secado se calcula de la siguiente manera, según Barbosa y Vega (2000).

$$R = \frac{-Ls}{A} * \frac{\Delta X}{\Delta t} \dots\dots\dots(1)$$

Ls : Kg. de sólido seco.

A : Área en m<sup>2</sup>.

R : velocidad de secado.

ΔX : Variación de humedad.

Δt : Variación de tiempo.

**a. Transferencia de materia y calor**

Cuando se seca un sólido se producen dos procesos fundamentales y simultáneos:

➤ **Transmisión del calor para evaporar el líquido**

La transferencia de calor ocurre desde el aire hacia el alimento ya que la temperatura del alimento es inferior a la del aire (Tecante, 2005).

➤ **Transferencia de masa**

El mayor contenido de humedad en el alimento hace que la presión parcial de agua en él sea mayor que en el aire teniendo como resultado la transferencia de masa desde el alimento hacia el aire.

Conforme el alimento pierde humedad se establecen en su interior diferencias de concentración, teniendo como resultado la transferencia de humedad hacia su superficie (Tecante, 2005).

### 2.2.1.1. Actividad de agua (aw)

La actividad de agua se define como la cantidad de agua libre en el alimento, es decir, el agua disponible para el crecimiento de microorganismos y para que se puedan llevar a cabo diferentes reacciones químicas. Tiene un valor máximo de 1 y un mínimo de 0. Cuanto menor sea este valor, mejor se conservará el producto (Gimferrer, 2008).

Si el componente principal es agua, tenemos la siguiente relación:

$$a_w = \frac{P_w}{P_w^0} \dots \dots \dots (2)$$

donde:

$a_w$  =Actividad de agua

$P_w$  = Presión de vapor de agua en equilibrio con el alimento.

$P_w^0$ = Presión de vapor del agua pura a la misma temperatura.

Fuente: Gahona (2000).

La actividad del agua es la humedad relativa (HR) de equilibrio dividida por 100. La humedad de equilibrio es el límite inferior del gradiente para la eliminación de agua del producto. La condición de equilibrio es uno de los parámetros más importantes en la deshidratación de alimentos (Singh et al., 1998).

$$HR = a_w * 100 \dots \dots \dots (3)$$

En un substrato cuando un microorganismo se encuentra con una actividad de agua menor que la que necesita, su crecimiento se detiene.

Esta detención del crecimiento no suele llevar asociada la muerte del microorganismo, sino que éste se mantiene en condiciones de resistencia durante un tiempo más o menos largo. En el caso de las esporas, la fase de resistencia puede ser considerada prácticamente ilimitada.

La gran mayoría de los microorganismos requiere unos valores de actividad de agua muy altos para poder crecer. De hecho, los valores mínimos de actividad para diferentes tipos de microorganismos son las siguientes:

$a_w > 0.90$ , Bacterias

$a_w > 0.85$ , Levaduras

$a_w > 0.80$ , Hongos filamentosos

Como puede verse los hongos filamentosos son capaces de crecer en substratos con una actividad de agua mucho menor a la del crecimiento de bacterias y levaduras. Por lo que se puede producir el deterioro de alimentos de baja actividad de agua, por ejemplo, quesos o almíbares por mohos, hongos filamentosos y no por bacterias. La reducción de actividad de agua para limitar el crecimiento bacteriano tiene importancia aplicada en la industria alimentaria. La utilización de almíbares, salmueras y salazones reduce la actividad de agua del alimento, todo esto se da para evitar su deterioro bacteriano (Aqualab, 2006).

La  $a_w$  de un alimento se puede reducir aumentando la concentración de solutos en la fase acuosa de los alimentos mediante la extracción del agua o mediante la adición de solutos. Algunas moléculas del agua se orientan en torno a las moléculas del soluto y otras quedan absorbidas por los componentes insolubles de los alimentos. En ambos casos el agua queda en una forma menos reactiva. Los alimentos de humedad intermedia como las frutas secas, la harina, los cereales, las confituras y mermeladas tienen una  $a_w$  entre 0.85 y 0.60 (Lima, 1999).

#### ✓ **Variación de la Actividad de Agua**

En el proceso de secado se pretende disminuir la humedad del producto a valores por debajo de 10% para no permitir el crecimiento de bacterias y hongos y retrasar lo más posible el desarrollo de ácaros e insectos en el producto (Barbosa et al., 2000).

### 2.2.1.2. Contenido de humedad

El contenido de humedad del producto se define como la relación entre la cantidad de agua en el alimento y la cantidad de sólidos secos y se expresa como:

$$X_t = (W_t - F_s) / F_s \dots\dots\dots(4)$$

donde:

$W_t$  = peso total de material en un tiempo determinado,

$F_s$  = peso de los sólidos secos,

$X_t$  = humedad expresada como “peso de agua/ peso de sólido seco”.

En los procesos de secado una variable muy importante es el contenido de **Humedad Libre X**. El contenido de humedad libre se puede evaluar si se considera el contenido de humedad de equilibrio:

$$X = X_t - X_{eq} \dots\dots\dots(5)$$

En la que  $X_{eq}$  es el contenido de humedad cuando se alcanza el equilibrio. Una típica curva de secado se obtiene al representar este contenido de humedad libre X frente al tiempo de secado (Ver Fig. N° 3)

La velocidad de secado R es proporcional al cambio del contenido de humedad en función del tiempo (t).

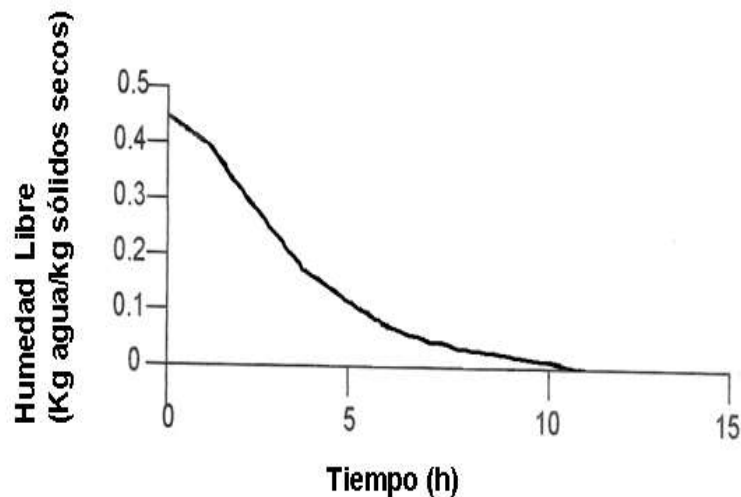
$$R = dx/dt \dots\dots\dots(6)$$

Considerando la curva presentada de la Figura 3, los valores individuales de  $dx/dt$  en función del tiempo, se pueden obtener a partir de la tangente trazada en la curva de X frente a t .Sustituyendo la ecuación de proporcionalidad en la ecuación 7 por  $F_s/A$ , la velocidad de secado se puede expresar como:



$$R = -(F_s./A) (dx/dt).....(7)$$

Donde R es la velocidad de secado y A es el área de la superficie donde tiene lugar el secado. Al representar R frente a t se obtiene una curva similar a la que se obtiene en la Figura 3 (Geankoplis, 1998). En la Figura 3 se representa un típica curva de secado.



**Figura 3: Contenido de humedad en función del tiempo de secado.**  
(Geankoplis, 1998).

### 2.2.1.3. Modificación del Color

El color de los alimentos varía con el secado. El color dependerá de las circunstancias bajo las cuales es visto el alimento y de la capacidad de su superficie para reflejar, dispersar, absorber o transmitir la luz visible.

El secado cambia, las propiedades físicas y químicas del alimento, por lo tanto modifican su capacidad para reflejar, dispersar, absorber o transmitir la luz visible. Por otro lado el secado altera los colores naturales de los alimentos. Los carotenoides son pigmentos liposolubles presentes en los vegetales rojos y amarillos, estas alteraciones son mayor cuanto más alta es la temperatura y el tratamiento de secado prolongado (Vanaclocha et al., 2003). Los equipos utilizados en la medición del color son los colorímetros y los refractómetros que emplean el diagrama CIE 1976 triestímulo cuyos valores son:

L\*=(-)luminosidad (+), a\*= eje verde(-) a rojo (+) y b\*= eje azul(-) a amarillo (+) (Konica, 2003).

### 2.3. Análisis sensorial

El análisis sensorial es un auxiliar de suma importancia para el control y mejora de la calidad de los alimentos ya que a diferencia del análisis físico-químico o microbiológico, que solo dan una información parcial acerca de alguna de sus propiedades, permite hacerse una idea global del producto de forma rápida, informando llegado el caso, de un aspecto de importancia capital: su grado de aceptación o rechazo (Coste, 2007).

### 2.4. Superficie de respuesta

La Metodología de Superficie de Respuesta (RSM) es un conjunto de técnicas matemáticas utilizadas en el tratamiento de problemas en los que una respuesta de interés está influida por varios factores de carácter cuantitativo. El propósito inicial de estas técnicas es diseñar un experimento que proporcione valores razonables de la variable respuesta y, a continuación, determinar el modelo matemático que mejor se ajusta a los datos obtenidos. El objetivo final es establecer los valores de los factores que optimizan el valor de la variable de respuesta (Fernandez et al., 2006).

Asumiendo que la respuesta de la superficie puede ser modelada por:

$$Y = f(x_1, \dots, x_n) + \varepsilon \dots\dots\dots(8)$$

El valor esperado de la respuesta es:

$$E[Y] = f(x_1, \dots, x_n) \dots\dots\dots(9)$$

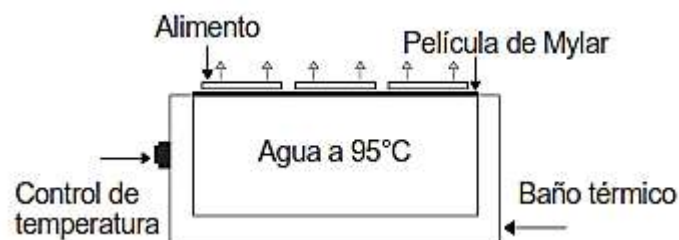
Esta es llamada la superficie de respuesta.

**Fuente:** Reyes (2008).

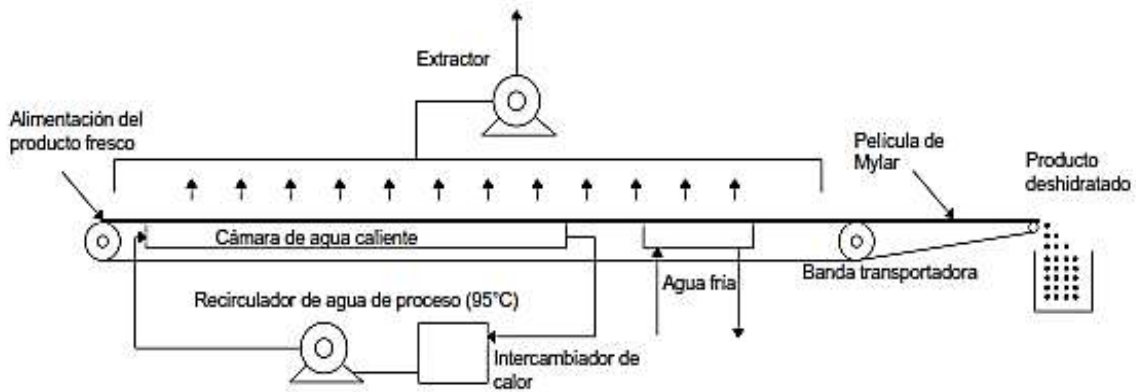
## 2.5. Deshidratación por ventana refractiva

La tecnología de ventana refractiva (VR) es un método novedoso de deshidratación de alimentos. Utiliza agua a 95 °C como principal medio de transferencia de calor para transmitir energía principalmente por radiación térmica. El proceso permite que la radiación proveniente del agua caliente pase a través de una película que literalmente está flotando en la superficie del agua, de esta forma, la radiación térmica llega al producto, provocando la evaporación del agua que constituye al alimento, como consecuencia, se genera una rápida deshidratación del alimento a presión atmosférica Ochoa-Martínez et al. (2012).

Un secador de ventana refractiva puede ser tan elemental como el empleado por Ochoa-Martínez et al. (2012) que consiste básicamente en un baño térmico de acero inoxidable con un control de temperatura que mantiene al agua de proceso a 95 °C cubierto con una película sobre la cual se coloca el alimento a secar, este equipo es de operación por lotes (Figura 4). También hay secadores de ventana refractiva con operación continua, formados por varias cámaras de secado (MCD Technologies INC, 2000) como el presentado en la Figura 5, en los que el alimento húmedo que ingresa al secador es depositado sobre una película, la cual lo transporta a través de cada una de las cámaras.



**Figura 4: Esquema de un secador de ventana refractiva por lotes. (Ochoa-Martínez et al. 2012)**



**Figura 5. Esquema de un secador continuo de ventana refractiva. (Abonyi et al. 2002).**

La película empleada para separar al alimento del agua está hecha de un material llamado Mylar que básicamente es tereftalato de polietileno (por sus siglas en inglés PET) comercializado en Estados Unidos y el Reino Unido bajo el nombre de Mylar™ y Melinex. Dentro de las propiedades físicas de este tipo de material se destacan: su alta flexibilidad, la transparencia del material a espesores entre 12 y 23  $\mu\text{m}$ , una alta resistencia a la tracción media (210 MPa), su resistencia a la humedad y a la mayoría de productos químicos, además, puede soportar temperaturas extremas que van de -70 a 150  $^{\circ}\text{C}$ , y principalmente, permite el paso de energía infrarroja (DuPont, 2012).

Uno de los principales inconvenientes del secado por ventana refractiva es que esencialmente el alimento debe estar en forma de pulpa, jugo o rodaja, se recomienda que el alimento tenga un espesor de 0.2 a 1.0 mm; algunos investigadores han reportado que entre más pequeño sea el espesor la eficiencia energética de la tecnología incrementa (Ochoa-Martínez et al., 2012).

Una buena cantidad de investigadores han realizado trabajos cuantificando y evaluando cambios en propiedades organolépticas y fisicoquímicas, encontrando que el secado por ventana refractiva retiene en el producto deshidratado el color, sabor y aroma natural del alimento, así como una buena cantidad de vitamina C y compuestos activos. Además, se ha

encontrado que la deshidratación de alimentos por ventana refractiva genera productos microbiológicamente estables.

Esta tecnología de ventana refractiva ha surgido como una alternativa interesante debido a que es una técnica relativamente simple y por lo mismo de bajo costo, en comparación con la liofilización y otros procesos de deshidratación; la tecnología de ventana refractiva ha sido utilizada en el desarrollo de evaporadores y secadores garantizando una alta eficiencia térmica, operación simple, limpieza rápida y un bajo costo de mantenimiento (MCD Technologies INC, 2000). El propósito de esta revisión es presentar la información más relevante relacionada con la tecnología de ventana refractiva y su aplicación en la deshidratación de alimentos de origen vegetal. Comercialmente el secador de ventana refractiva es de aproximadamente 6 m de longitud y 2.4 m de ancho; para planta piloto la superficie de operación está en un rango de 3.1 a 4.6 m<sup>2</sup>. Con el fin de aumentar la velocidad de producción se puede incrementar el número de módulos como el que se muestra en la Figura 05 (Nindo et al., 2003). El conjunto de módulos tiene una sección en la parte frontal para la introducción del alimento húmedo y otra en la parte final para remover el producto deshidratado (Clarke, 2004).

#### **2.5.1. Características de los alimentos secados por ventana refractiva.**

La deshidratación por ventana refractiva preserva el color, sabor, aroma, vitaminas y antioxidantes (Abonyi et al., 2002); al mismo tiempo que garantiza la estabilidad microbiológica del producto tratado (Feng et al., 2001) y una buena reconstitución al rehidratarlo, esto último como consecuencia de su alta porosidad (Ochoa-Martínez et al., 2012).

#### **2.5.2. Características microbiológicas de los alimentos secados por ventana refractiva.**

Aunque el secado por ventana refractiva no es considerada una tecnología para la destrucción microbiana, se ha demostrado que se obtienen productos microbiológicamente estables (Feng et al., 2001) superando a otras tecnologías de deshidratación.

El secado por ventana refractiva reduce la presencia de bacterias aerobias, coliformes, *Escherichia coli* ATCC 23724 y *Listeria innocua* en el producto deshidratado. Nindo et al. (2003) inocularon una mezcla de dichos microorganismos en proporciones iguales, dicha mezcla fue vertida en puré de calabaza obteniendo una concentración inicial de 10 UFC/mL en el puré de calabaza y un contenido de humedad inicial de 5.76-6.41 kg de agua/kg sólidos secos antes de someterlo al secado por ventana refractiva, como resultado, observaron que todas las cuentas se redujeron hasta el mínimo nivel de detección (< 5 UFC/mL), en el caso de bacterias aerobias el conteo fue de 4.6, para coliformes, alrededor de 6.0 para *Escherichia coli* ATCC 23724, y de 5.5 para *Listeria innocua*, mientras que en otras tecnologías como en secado por aspersion, la reducción de microorganismos no es tan notoria. En el secado por aspersion de leche de vaca inoculada con *B. bifidum*, Selvamuthukumaran y Shankar (2006) obtuvieron en el producto final, hasta un 25.6% de sobrevivencia de dicho microorganismo.



### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Lugar de ejecución

La etapa experimental del presente trabajo de investigación se llevó a cabo en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional de San Martín ubicados en la Ciudad Universitaria, Distrito de Morales, Provincia de San Martín, Departamento de San Martín.

#### 3.2. Materia prima

Los frutos de camu camu fueron obtenidos de la ciudad de Yurimaguas, Provincia de Alto Amazonas, ubicada en el Departamento de Loreto, situada a 148 msnm. Los frutos de camu camu se recolectaron en un estado pintón maduro; con una tonalidad mitad verde y mitad coloración granate, con un peso promedio de 7 gramos, los cuales pueden verse en la Figura 6.



**Figura 6: Frutos de camu camu.**

### **3.3. Equipos y Materiales de Laboratorio**

#### **3.3.1. Equipos**

- ✓ Estufas MEMMERT, Modelo 600, tipo V30, temperatura máxima de 220°C, 1400 W y 220 voltios.
- ✓ Mufla THERMOLYNE 1500 Furnace, temperatura máxima de 1200°C, 2240 W, 240 voltios, U.S.A.
- ✓ Balanza digital DENVER INSTRUMENT COMPANY, modelo AA - 2000 capacidad 210 g. exactitud 0.1 mg.
- ✓ Balanza digital DENVER INSTRUMENT COMPANY, modelo AA- 2000, capacidad 6100 g., exactitud 0.1 g., U.S.A
- ✓ Cocina eléctrica FISHER, temperatura máxima de 600°C.
- ✓ Destilador micro Kjeldhal, marca Buchi.
- ✓ Digestor Buchi para proteínas, tipo B425, 1100 W, Suecia.
- ✓ Equipo de titulación.
- ✓ Equipo de Baño María, "Memmert" con termoregulador digital.
- ✓ Equipo Kjeldahl.
- ✓ Equipo Soxhlet.
- ✓ Colorímetro Digital, "Minolta."

#### **3.3.2. Materiales**

- ✓ Placas Petri.
- ✓ Materiales de Vidrio.
- ✓ Utensilios.
- ✓ Bolsas Ziploc.
- ✓ Crisoles
- ✓ Pizetas
- ✓ Papel Filtro
- ✓ Matraz
- ✓ Cronómetro
- ✓ Pie de Rey

### 3.3.3. Reactivos

- ✓ Hidróxido de sodio (NaOH)
- ✓ Acido Sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)
- ✓ Acido clorhídrico(HCl)
- ✓ Acido bórico
- ✓ Éter de petróleo
- ✓ Cloruro de litio
- ✓ Acetato de Potasio
- ✓ Cloruro de Magnesio
- ✓ Cloruro de Sodio
- ✓ Cloruro de Bario
- ✓ Cloruro de Potasio
- ✓ Nitrato de Magnesio
- ✓ Ácido 3,5 dinitrosalicílico
- ✓ 2,6 diclorofenolindofenol
- ✓ Azul de Metileno
- ✓ Fenolftaleína

### 3.4. Metodología Experimental

Se utilizó un diseño compuesto con punto central 2<sup>2</sup> (Ver Cuadro 3), considerando dos variables independientes (temperatura y concentración de encapsulante) con dos niveles 2<sup>2</sup> (2 x 2) y 4 puntos axiales y 5 centrales.

**Cuadro 2: Tratamiento del estudio**

| Factores                         | Dominio Experimental |    |    |    |          |
|----------------------------------|----------------------|----|----|----|----------|
|                                  | - $\alpha$           | -1 | 0  | 1  | $\alpha$ |
| X <sub>1</sub> : temperatura °C  | 73                   | 75 | 80 | 85 | 87       |
| X <sub>2</sub> : [ ] sólidos (%) | 11                   | 12 | 14 | 16 | 17       |

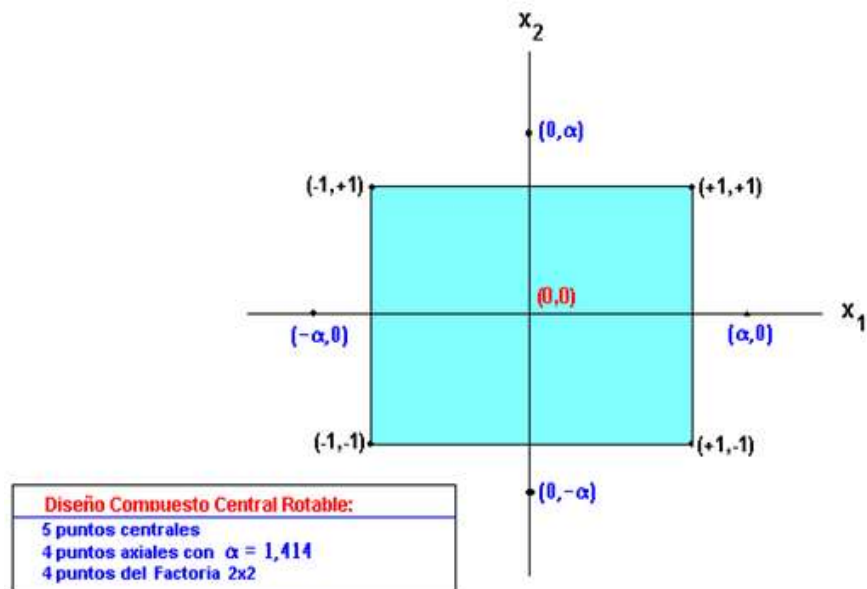
Ver anexo 4 cuadro donde se muestra la adición de encapsulante para llegar al % de sólidos que se muestra en el cuadro 2.

A continuación en el Cuadro 3 se muestra el plan de experimentación que se obtiene al reemplazar los valores de las variables codificadas por los valores de las variables reales, lo cual con ellos experimentalmente obtendremos el promedio de respuestas y en la figura 7 se observa el Diseño Compuesto Central rotatable.

**Cuadro 3: Matriz de experimentos de un diseño factorial completo  $2^2$ , plan de experimentación y respuestas medidas.**

| Variables naturales |      |         | Variables codificadas |                | Respuesta |
|---------------------|------|---------|-----------------------|----------------|-----------|
| Nº                  | T °C | [S] (%) | X <sub>1</sub>        | X <sub>2</sub> |           |
| 1                   | 75   | 12      | -1                    | -1             | (Y1)      |
| 2                   | 75   | 16      | -1                    | 1              | (Y2)      |
| 3                   | 85   | 12      | 1                     | -1             | (Y3)      |
| 4                   | 85   | 16      | 1                     | 1              | (Y4)      |
| 5                   | 80   | 14      | 0                     | 0              | (Y5)      |
| 6                   | 80   | 14      | 0                     | 0              | (Y6)      |
| 7                   | 80   | 14      | 0                     | 0              | (Y7)      |
| 8                   | 80   | 14      | 0                     | 0              | (Y8)      |
| 9                   | 80   | 14      | 0                     | 0              | (Y9)      |
| 10                  | 87   | 14      | $\alpha$              | 0              | (Y10)     |
| 11                  | 73   | 14      | $-\alpha$             | 0              | (Y11)     |
| 12                  | 80   | 17      | 0                     | A              | (Y12)     |
| 13                  | 80   | 11      | 0                     | $-\alpha$      | (Y13)     |

## DISEÑO COMPUESTO CENTRAL



**Figura 7: Diseño compuesto central rotatable.**

El análisis de los valores experimentales obtenidos fue realizado a través de la metodología de superficie de respuesta (RSM), con modelos de primer y segundo orden (Montgomery, 2003).

Se realizó una evaluación sensorial con escala hedónica de 5 puntos con la finalidad de determinar el mejor tratamiento en el secado de pulpa de camu camu, utilizando el Diseño de Bloques Completos al Azar.

Panelistas no entrenados, potencialmente consumidores evaluaron los atributos de color, olor, sabor, textura en los trece tratamientos.

Los atributos de evaluación sensorial fueron representados mediante las gráficas de superficie de respuesta (Fernández et al., 2006) empleando el programa Statistica version 10.0.

### 3.5. Flujograma de secado de pulpa de camu camu por ventana refractiva.

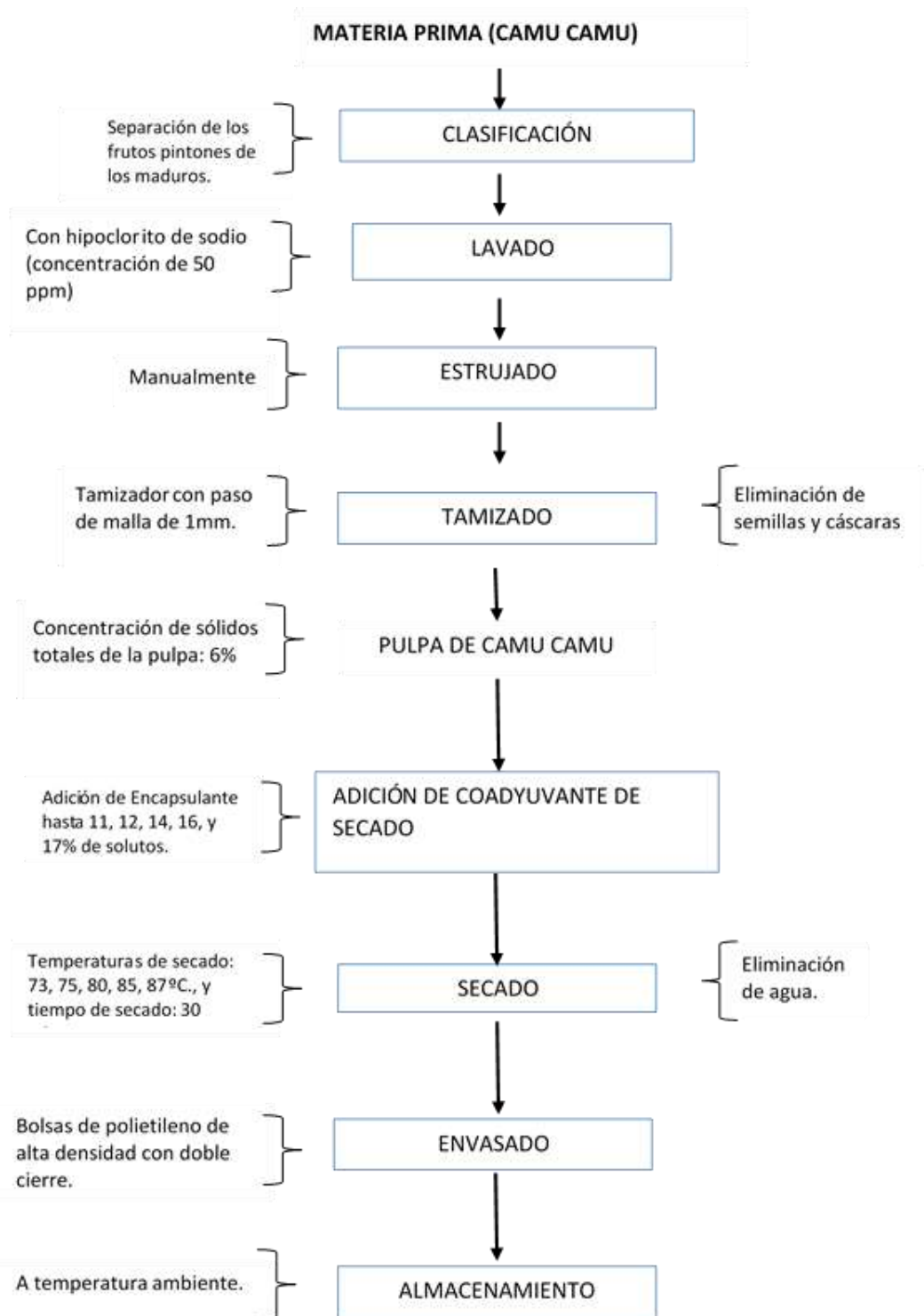


Figura 8: Diagrama de flujo de secado de pulpa de camu camu por ventana refractiva.

### **3.6. Descripción de las operaciones del proceso**

#### **3.6.1. Materia prima.**

Los frutos de camu camu fueron obtenidos de la ciudad de Yurimaguas, Provincia de Alto Amazonas, ubicada en el Departamento de Loreto, situada a 148 msnm. Los frutos de camu camu se recolectaron en un estado pintón maduro; con una tonalidad mitad verde y mitad coloración granate, con un peso promedio de 7 gramos.

#### **3.6.2. Clasificación.**

Los frutos de camu camu fueron clasificados según el estado de madurez, que fueron en un estado pintón maduro (50 a 75 % de coloración granate) (James y Penn, 2006), apariencia firme, palpando ligeramente el fruto para comprobar la consistencia y eliminar los frutos deteriorados por efecto del transporte.

#### **3.6.3. Lavado.**

Se realizó el lavado de los frutos para eliminar residuos indeseables que contienen una alta carga de sustancias extrañas y de microorganismos del fruto.

Para la desinfección se utilizó hipoclorito de sodio en solución, con una concentración de 50 ppm de cloro (FAO, 1996).

#### **3.6.4. Estrujado.**

El estrujado se realizó en forma manual con uso de guantes, tratando de extraer al máximo el color de la cáscara.

#### **3.6.5. Tamizado.**

Se procedió a tamizar, con un tamizador de malla de paso de 1mm. Lo cual nos permitió separa las semillas, cáscaras, grumos y algunas fibras muy gruesas.

### 3.6.6. Pulpa de camu camu.

La pulpa pura obtenida de la operación anterior se guardó en bolsas de polietileno de alta densidad marca Ziploc para congelación, procesándose a  $-23^{\circ}\text{C}$  para evitar cualquier alteración del producto.

### 3.6.7. Adición de coadyuvante de secado.

Se concentró con encapsulante hasta 11, 12, 14, 16, y 17% de solutos con encapsulante (goma arábica) de grado industrial.

### 3.6.8. Secado por ventana refractiva.

Para el secado se utilizó un equipo de baño maría para simular al secador de ventana refractiva por lotes, a temperaturas de secado de 73, 75, 80, 85 y  $87^{\circ}\text{C}$ . Las muestras tuvieron un espesor de 0.1 cm y el tiempo de secado considerado fue de 30 minutos. El área de la película de polipropileno empleada como soporte fue de  $0.0425\text{ m}^2$ , y su espesor de 0.1cm; mientras que el espacio entre la película y el agua caliente fue 1cm. Una vez secas las muestras se retiraron de la película de polipropileno con una espátula. En la figura 9 se presenta el esquema del equipo secador de ventana refractiva, por lotes, que se utilizó para la presente investigación.

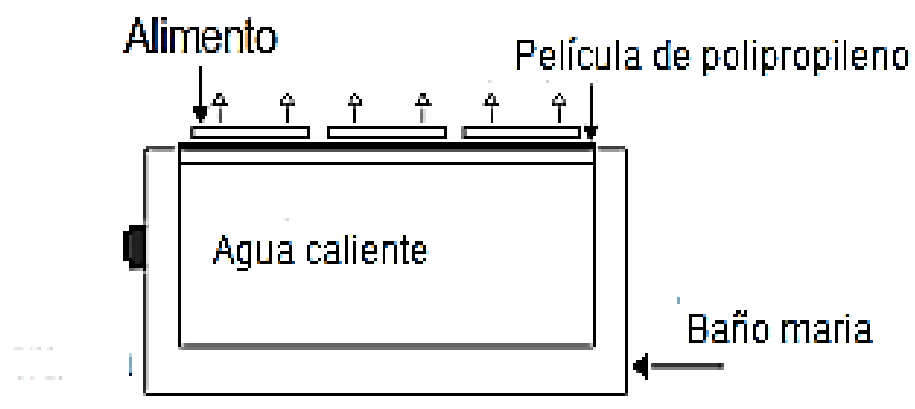


Figura 9: Equipo secador de ventana refractiva por lotes.



### **3.6.9. Envasado**

Para la mejor conservación del producto, las muestras secas de camu camu se envasaron manualmente en papel aluminio y luego en bolsas de polietileno de alta densidad (Mincetur, 2010), de marca Ziploc, las mismas que contaban con doble cierre hermético.

### **3.6.10. Almacenamiento**

Las muestras previamente envasadas se almacenaron a temperatura ambiente, por un periodo de un mes.

## **3.7. Métodos de Control**

### **3.7.1. Controles en el fruto**

Los controles que se realizaron en el fruto de camu camu fueron:

#### **3.7.1.1. Rendimiento de Pulpa**

Se determinó el rendimiento de pulpa fresca, para ello se pesaron cáscara y semillas (Bohórquez et al., 2001).

#### **3.7.1.2. Caracterización físico - química**

Se tomaron 50 muestras las cuales se promediaron y se determinó sus características físicas: diámetro transversal, longitudinal, peso (Bohórquez et al., 2001), y químicas: acidez, pH, sólidos solubles, índice de madurez (A.O.A.C, 2012).

#### **3.7.1.3. Análisis físico - químico de pulpa de camu camu**

El análisis químico proximal de la pulpa de camu camu se realizó según los métodos siguientes, por duplicado:

**a. Humedad**

Se determinó por el método de estufa, a presión atmosférica, a 105°C hasta peso constante por espacio de 24 horas (A.O.A.C, 2012).

**b. Proteína total**

Se determinó por el método Kjeldahl que consta de 3 procesos: digestión, destilación y titulación (A.O.A.C., 2012).

**c. Vitamina C**

Se utilizó el método de titulación visual con 2,6 diclorofenolindofenol. (A.O.A.C., 2012).

**d. Sólidos totales**

Se determinó eliminando el contenido de agua del alimento (A.O.A.C, 2012).

**e. Color**

El color de las muestras de camu camu se midió en un colorímetro de marca Konica Minolta, Osaka, Japón. Siendo calibrado con un patrón blanco. El sistema utilizado para medir el color tiene en cuenta tres parámetros:

L\*= (-) luminosidad (+), a\*= eje verde (-) a rojo (+) y b\*= eje azul (-) a amarillo (+) (Soysal, 2004).

**3.7.2. Controles durante el proceso de deshidratado**

En este proceso se controló:

**3.7.2.1. Temperatura**

Se utilizó un termómetro infrarrojo de marca Laserliner Condense Spot Pro, fabricante Laserliner.

### **3.7.2.2. Modificación del color**

El color de las muestras de pulpa de camu camu se midió en un colorímetro de marca Konica Minolta, Osaka, Japón. Siendo calibrado con un patrón blanco. El sistema utilizado para medir el color tiene en cuenta tres parámetros:

L\*= (-) luminosidad (+) , a\*= eje verde(-) a rojo(+) y b\*= eje azul(-) a amarillo(+).

Posteriormente, se comparó la muestra fresca con las muestras sometidas a los diferentes tratamientos de secado (Soysal, 2004).

### **3.7.3. Análisis proximal en el producto terminado**

Se realizó según los métodos recomendados por la A.O.A.C. (2012), por duplicado, el mismo proceso dado en la muestra en fresco.

### **3.7.4. Análisis microbiológico**

Se realizó un recuento en placa mediante el Número más probable (NMP), con la finalidad de determinar la Estabilidad microbiológica del producto deshidratado, para luego comparar si los resultados se encuentran dentro del rango de los parámetros establecidos en base a normas legales vigentes de acuerdo a la Resolución Ministerial N° 591-2008/MINSA, ver anexo 1.

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

##### 4.1. Rendimiento del fruto de camu camu (*Myrciaria dubia* HBK).

En el Cuadro 4 se presenta el rendimiento, en porcentaje, de la pulpa fresca. Para encontrar este porcentaje se pesaron cáscaras, semillas y placenta, tomando como base 100 gramos de camu camu. Se puede observar que el 45.4% es pulpa, valor inferior al determinado por Torres (2010), quien reportó 55,35% de pulpa de camu camu.

Esta diferencia podría atribuirse al ecotipo usado, el tipo de beneficio y al proceso de extracción utilizado.

**Cuadro 4: Rendimiento de pulpa de Camu camu**

| <b>Rendimiento Basado en 100 g de camu camu</b> |            |
|---|------------|
| Cáscara, semillas y fibras (%)                  | 54.6       |
| Pulpa (%)                                       | 45.4       |
| <b>TOTAL</b>                                    | <b>100</b> |

##### 4.2. Características físicas de la pulpa de camu camu (*Myrciaria dubia* HBK).

En el Cuadro 5 se aprecian las características físicas de la pulpa de camu camu (*Myrciaria dubia* HBK). Los resultados presentados corresponden al promedio de 50 frutos de camu camu, como se puede observar el peso promedio es 7 g, menor a lo determinado por Torres (2010), quien evaluó 8.52 g en los granos de camu camu; el diámetro longitudinal promedio resultó ser 3 cm, mayor a lo evaluado por Torres (2010) quien determinó 2.32 cm. El estado de madurez determinado en las muestras evaluadas resultó entre 50-75% color granate; los valores determinados corresponden a frutos de camu camu en estado de madurez pintón maduro.

**Cuadro 5: Características físicas del fruto de Camu Camu.**

|                                     |       |
|-------------------------------------|-------|
| Peso Promedio (g)                   | 7     |
| Diámetro Transversal Promedio (cm)  | 4     |
| Diámetro Longitudinal Promedio (cm) | 3     |
| color granate (%)                   | 50-75 |

**4.3. Caracterización físico - química de la pulpa de camu camu (*Myrciaria dubia* HBK).**

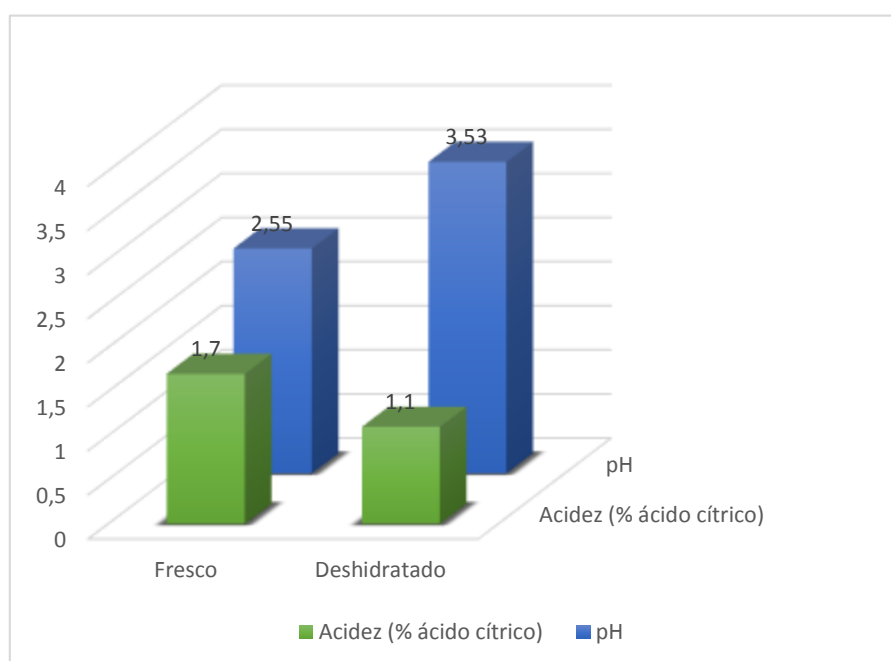
En el Cuadro 6 se presentan los valores de acidez, pH y sólidos. En la fruta fresca la acidez fue de 1.7% y el pH de 2.55.

En la figura 10 se presenta el pH del camu camu fresco de 2.55, que corresponde a un valor de acidez de 1.7 % reportado como ácido cítrico. Información corroborada por Arévalo y Kieckbusch (2003); Torres (2010) determinó en camu camu fresco un pH de 2.26 y 3.21% para índice de acidez, valor superior al obtenido en el presente trabajo.

En la pulpa deshidratada se determinó un pH de 3.53 y acidez de 1.1. El aumento de pH en el producto deshidratado; se debe a la pérdida de ácidos de la fruta (relación inversa: al disminuir la acidez, aumenta el valor de pH en la muestra). En cuanto al contenido de sólidos en la pulpa fresca se observa 6% y deshidratado el 85% lo que involucra mayor tiempo de vida útil por el bajo contenido de agua.

**Cuadro 6: Características físico - químicas de la pulpa de camu camu fresca y deshidratada.**

| Parámetros                     | Fresco | Deshidratado |
|--------------------------------|--------|--------------|
| Acidez (% ácido cítrico) (ATT) | 1.7    | 1.1          |
| pH                             | 2.55   | 3.53         |
| Sólidos (%)                    | 6.0    | 85           |



**Figura 10: Variación del pH y de la acidez de la pulpa de camu camu después del secado por ventana refractiva.**

#### 4.4. Variación del color en el secado

En el Cuadro 7 observamos la variación del color con respecto a  $L^*$  y saturaciones  $a^*$  y  $b^*$ , encontrando diferencias significativas en cuanto al color original, para el parámetro  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  que representa la variación del color entre la pulpa fresca y deshidratada para el mejor tratamiento (85°C y 12% de sólidos).

Para el parámetro L\*, siendo 0 el color negro y 100 el color blanco, los valores de Luminosidad después del tratamiento son mayores a los obtenidos en la pulpa fresca, es decir que el camu camu al ser deshidratado tiende a aclararse, el valor de la luminosidad en la pulpa fresca es de 21.23; mientras que la luminosidad de la pulpa de camu camu deshidratada aumenta a 52.04 lo que nos indica que al secarse la pulpa de camu camu tiende a aclararse, la diferencia se debe a que en la extracción de la pulpa sufre un oscurecimiento.

**Cuadro 7: Comparación de los parámetros del color en producto fresco y seco.**

| <b>Tratamiento</b>        | <b>L*</b>    | <b>a*</b>   | <b>b*</b>     |
|---------------------------|--------------|-------------|---------------|
| <b>Pulpa Fresca</b>       | <b>21.23</b> | <b>6.77</b> | <b>- 7.14</b> |
| <b>Pulpa deshidratada</b> | 52.07        | 21.6        | 7.66          |

La saturación a\* varía desde verde hasta el color rojo, el color verde se encuentra por debajo de 0 y el rojo por encima de 0, en la pulpa fresca el valor se encuentra por encima de cero, quiere decir que posee una coloración roja no muy intensa (6.77), asimismo la pulpa deshidratada aumenta su color a un rojo intenso. El tratamiento más aceptable fue a 85°C y 12% de sólidos con una coloración roja más intensa, similar aumento de color en el parámetro a\* determinó Morales et al. (2013) en puré de zanahoria, lo que podría atribuirse a una probable oxidación de carotenoides, ya que estos compuestos son susceptibles a la oxidación durante la deshidratación debido al alto grado de insaturación de su estructura química.

Los resultados de la saturación b\*, que se encuentra entre el color azul y el color amarillo, donde azul es menor que 0 y amarillo por encima de 0; en la pulpa fresca el valor se encuentra por debajo de cero en el color azul (-7,14) menor a lo determinado por Torres (2010) en la parte interna del camu camu -0,83 y en la pulpa deshidratada el valor de b\* está por encima de cero es decir durante el proceso de deshidratado los pigmentos cambiaron de azul a

amarillo, el mismo incremento experimentó Morales J. et al.,(2013) en espárrago (*Asparagus officinalis L.*) pudiendo atribuirse al oscurecimiento no enzimático en presencia de glucosa, fructosa y además la velocidad de oscurecimiento no enzimático generalmente se incrementa cuando el agua es removida durante los procesos de secado y alcanza sus valores máximos a contenidos de humedad intermedia (0.18 a 0.25 kg de agua/kg sólidos secos).

#### **4.5. Contenido de ácido ascórbico en los tratamientos**

##### **4.5.1. Contenido de ácido ascórbico en pulpa de camu camu fresca y deshidratada**

En el Cuadro 8, se presenta el contenido de vitamina C en fruta fresca que fue de 1 471 mg de vitamina C/100 g de pulpa, mientras que en las muestras deshidratadas varió desde 877 a 1 243 mg de vitamina C por cada 100g de pulpa. La imagen de la pulpa deshidratada de camu camu se muestra en el anexo 3.

Morales et al., (2013) menciona que la tecnología de Ventana Refractiva asegura una retención de vitamina C de 94%, el mismo autor menciona que al deshidratar puré de fresa por Ventana Refractiva, encontraron que tan solo se pierde alrededor del 6% de ácido ascórbico (Vitamina C), menor a la pérdida determinada en el presente trabajo que fue de 15.5% esto diferencia se puede deber al tipo de secador utilizado, ya que en autor antes mencionado utilizó un secador continuo, y en el caso de esta investigación se usó un equipo secador por lotes.

Lazo (2015) en su mejor tratamiento de liofilizado de pulpa de camu camu, tan solo pierde 8.73% de vitamina C; la diferencia con lo determinado es de 6.77% lo cual se puede reducir mediante el uso de un secador de ventana refractiva continuo, debido a que este optimiza el secado.

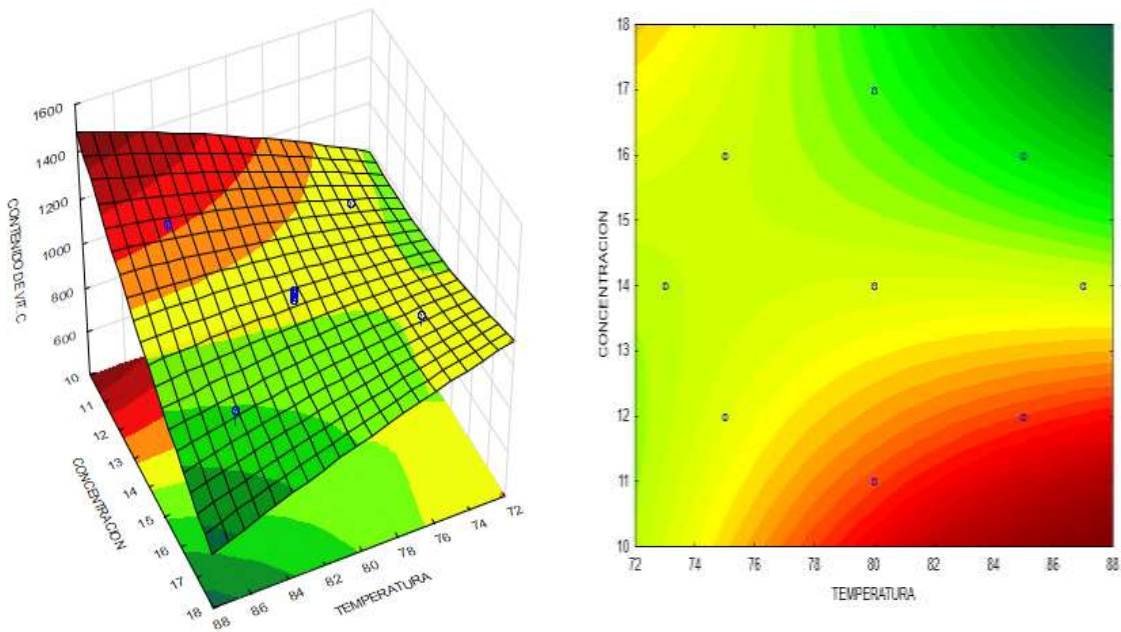


El tratamiento que permitió obtener la mayor retención de vitamina C (84.5%) estuvo dado por temperatura de 85°C y 12% de sólidos.

**Cuadro 8: Contenido de vitamina C en pulpa de camu camu en fresco y deshidratado.**

| <b>Contenido de Vitamina C (mg /100 g de pulpa)</b> |                                   |                     |               |
|---|-----------------------------------|---------------------|---------------|
| <b>Temperatura °C</b>                               | <b>Concentración de solidos %</b> | <b>Deshidratada</b> | <b>Fresca</b> |
| 75  | 12                                | 1 067               | <b>1 471</b>  |
| 75  | 16                                | 1 053               |               |
| 85  | 12                                | 1 243               |               |
| 85  | 16                                | 930                 |               |
| 80  | 14                                | 1 017               |               |
| 80  | 14                                | 1 030               |               |
| 80  | 14                                | 967                 |               |
| 80  | 14                                | 1 047               |               |
| 80  | 14                                | 1 060               |               |
| 87  | 14                                | 963                 |               |
| 73  | 14                                | 960                 |               |
| 80  | 17                                | 877                 |               |
| 80  | 11                                | 1 163               |               |

Así mismo, se observa en el cuadro 9, que no hay diferencia significativa ( $p > 0.05$ ) en la temperatura (L), temperatura (Q) y concentración de sólidos (Q), pero se observa diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) para la concentración de sólidos (L) y en la interacción de la temperatura (L) y la concentración de sólidos (L), es decir el factor más influyente en la cantidad final de vitamina C, es la concentración de sólidos (coadyuvante, goma arábica) y si esta interactúa con la temperatura (L) a mayor temperatura se tendrá mayor contenido final de vitamina C, como puede verse en la Figura 11. La variabilidad de concentración es del 82.15%, que es explicada por el factor Temperatura, como se muestra en el Cuadro 9.



**Figura 11: Superficie de respuesta de la concentración de vitamina C en función de la concentración de sólidos y de la temperatura de secado.**

**Cuadro 9: Análisis de varianza del contenido de vitamina C.**

| ANOVA; Var.:CONTENIDO DE VIT. C; R-sqr=,82159; Adj:,69415 (Spreadsheet1)<br>2 factors, 1 Blocks, 13 Runs; MS Residual=2889,911<br>DV: CONTENIDO DE VIT. C |          |    |          |          |          |  |
|---|----------|----|----------|----------|----------|--|
| Factor  | SS       | df | MS       | F        | p        |  |
| (1)TEMPERATURA(L)   | 424,7    | 1  | 424,75   | 0,14698  | 0,712820 |  |
| TEMPERATURA(Q)  | 681,6    | 1  | 681,62   | 0,23586  | 0,642042 |  |
| (2)CONCENTRACION(L)   | 67358,2  | 1  | 67358,17 | 23,30805 | 0,001904 |  |
| CONCENTRACION(Q)  | 1785,3   | 1  | 1785,28  | 0,61776  | 0,457655 |  |
| 1L by 2L  | 22500,0  | 1  | 22500,00 | 7,78571  | 0,026897 |  |
| Error   | 20229,4  | 7  | 2889,91  |          |          |  |
| Total SS  | 113386,3 | 12 |          |          |          |  |

#### 4.6. Análisis físico - químico de la pulpa de camu camu (*Myrciaria dubia* HBK), fresco y deshidratado

En el Cuadro 10 se muestran los resultados del análisis físico - químico obtenidos en la pulpa de camu camu (*Myrciaria dubia* HBK), fresca y deshidratada.

Mediante una serie de pruebas realizadas por el método de estufa (A.O.A.C, 2012) se determinó la humedad promedio para el camu camu (*Myrciaria dubia* HBK) en fresco. Comparando con los resultados obtenidos por Silva et al. (1994) y Silva et al. (1997), quienes reportaron variaciones del 86% al 93% de humedad. FAO y AGRONET (2004), determinaron 94.4% de humedad similar a lo determinado en la presenta investigación en base húmeda (94%) y humedad en base seca fue de 15%, 5% mayor a lo obtenido en el secado de mango con 10.2% (Pott et al., 2005).

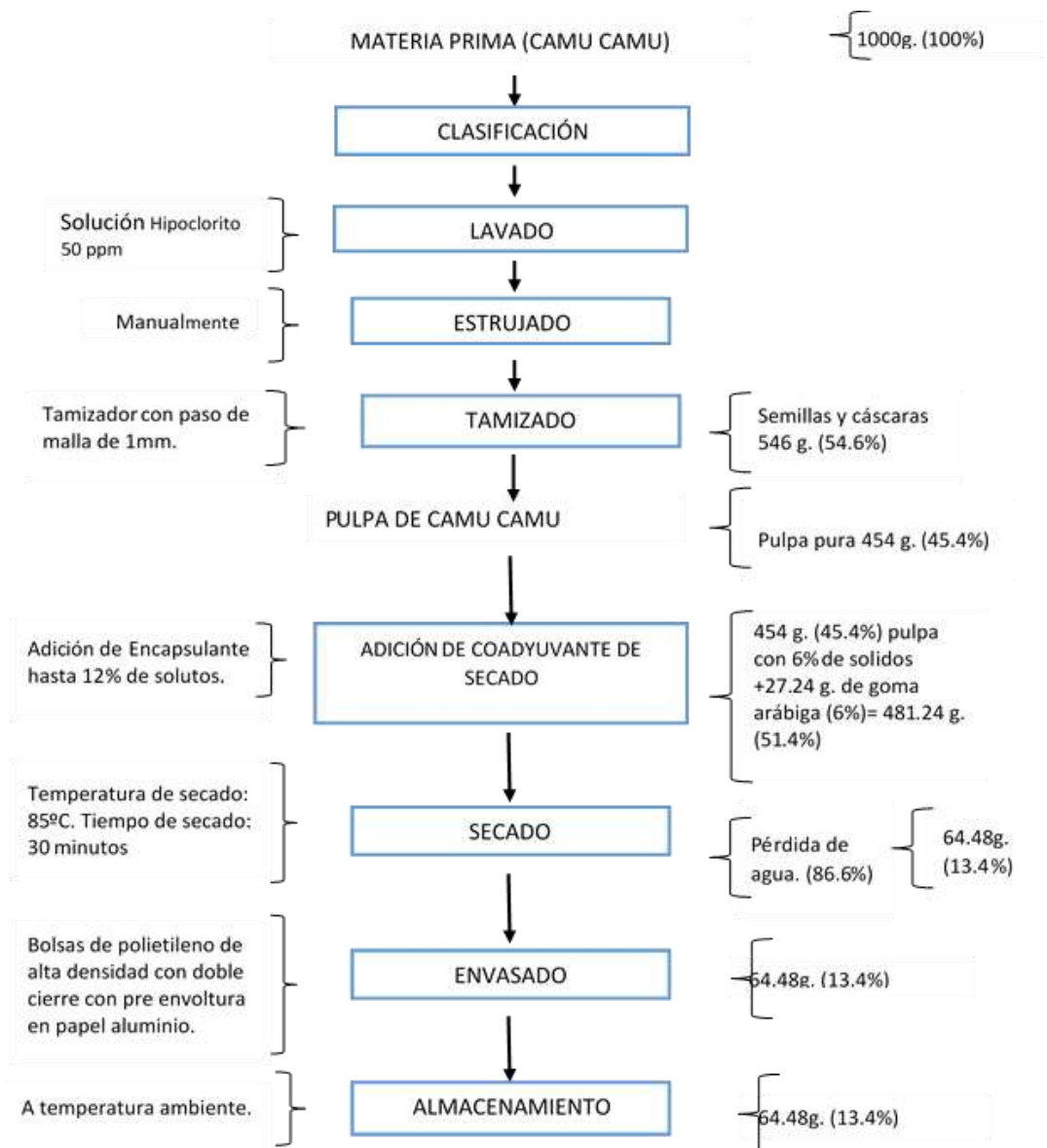
El contenido de proteína en la pulpa fresca fue (0.51%) y en el camu camu deshidratado (4.67%).

**Cuadro 10: Análisis físico - químico de camu camu fresco y deshidratado (por 100 g. de pulpa de camu camu).**

| <b>DETERMINACIONES</b> | <b>FRESCO</b> | <b>DESHIDRATADO</b> |
|------------------------|---------------|---------------------|
| Humedad (%)            | 94.0          | 15.0                |
| Proteína (%)           | 0.51          | 4.67                |
| Sólidos (%)            | 6.0           | 85.0                |

#### 4.7. Balance de materia en la obtención pulpa de camu camu seca por ventana refractiva

En la Figura 12 se observa que el rendimiento de la pulpa de camu camu deshidratada es de 13.4%, es decir que por cada 1000 gramos de fruta de camu camu, obtengo 64.48 gramos de pulpa de camu camu deshidratada.



**Figura 12: Diagrama de flujo y balance de masa en el proceso de secado de pulpa de camu camu mediante ventana refractiva.**

#### 4.8. Análisis Sensorial de pulpa de camu camu (*Myrciaria dubia* HBK) deshidratada por Ventana Refractiva.

En la elección del mejor tratamiento se emplearon 10 jueces no entrenados, pero posibles consumidores, los que a través de una ficha de evaluación calificaron los atributos de color, olor, sabor y apariencia general del camu camu deshidratada con los trece tratamientos y se realizó el análisis de Superficie de respuesta para cada atributo. A continuación se presenta la superficie de respuesta en el análisis sensorial de de pulpa de camu camu (*Myrciaria dubia* HBK) deshidratada por Ventana Refractiva.

##### 4.8.1. Color

En la Figura 13, se presenta la superficie de respuesta para el Color de la pulpa de camu camu, si bien es cierto las franjas rojas representan los tratamientos mejor aceptados por los panelistas, en la presente investigación se observa que a 85°C y 12% de concentración, se acerca más al color rojo, lo que sería el mejor tratamiento en cuanto al color, siendo el más apreciado por los panelistas.

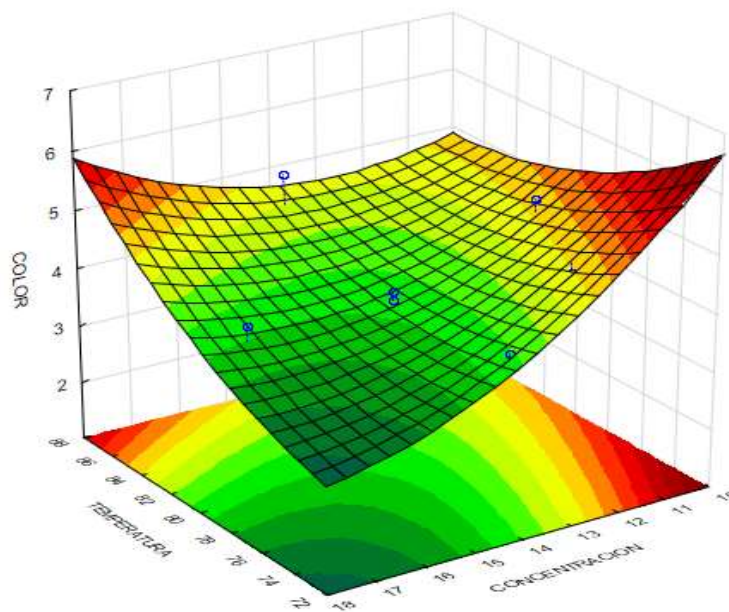
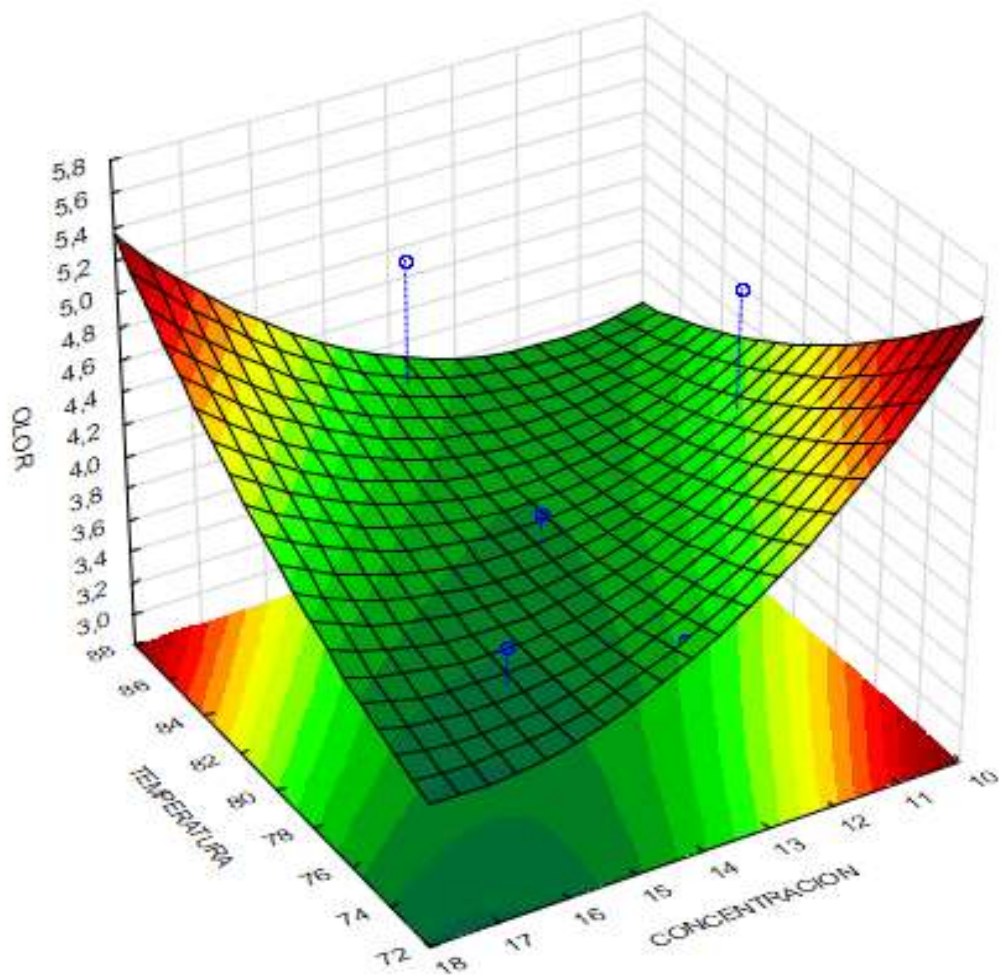


Figura 13: Superficie de respuesta en el color de la pulpa de camu camu deshidratada.

#### 4.8.2. Olor

Como observamos en la Figura 14, el mejor tratamiento para el atributo Olor fue 85°C y 12% de concentración, también observamos que la mayoría de los tratamientos son aceptables, lo que se asume por que el aroma es intenso y que los compuestos químicos que los producen (ácidos, ésteres, etc.) no han sido totalmente evaporados durante el secado.



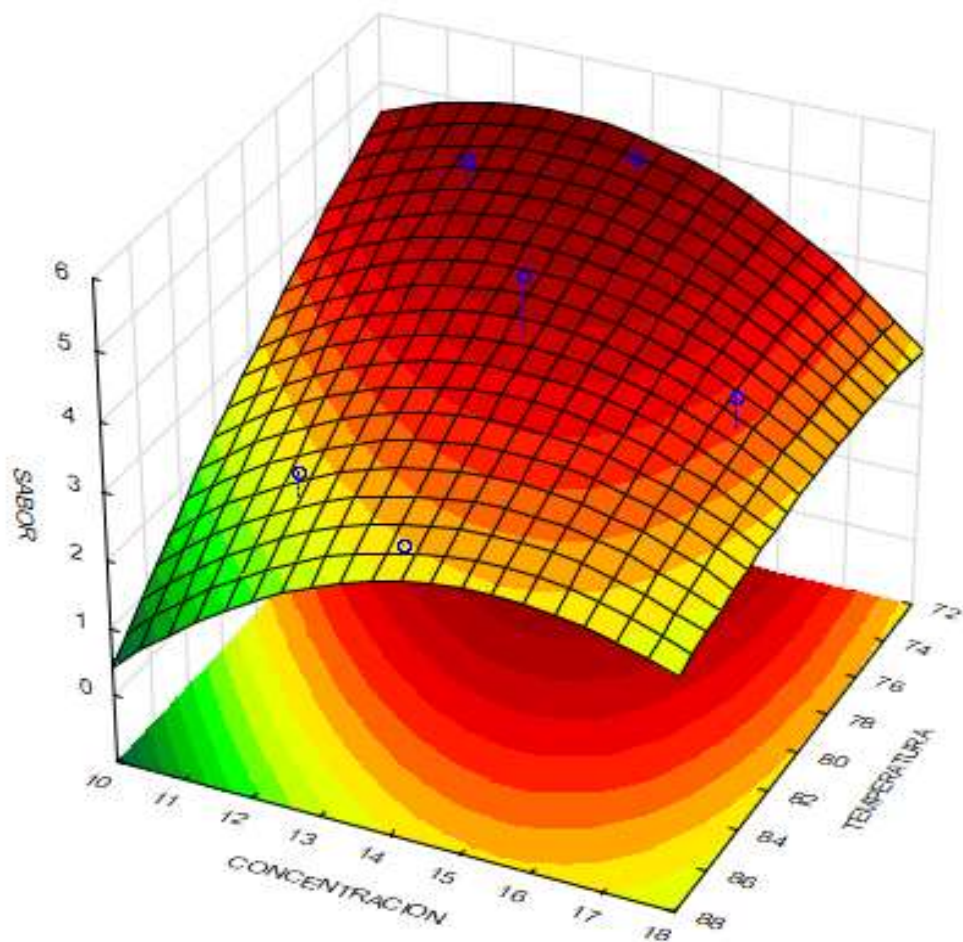
**Figura 14: Superficie de respuesta en el olor de la pulpa de camu camu deshidratada.**

#### 4.8.3. Sabor

En la Figura 15 se presenta la superficie de respuesta para el sabor, observamos que los tratamientos con temperaturas bajas y concentraciones



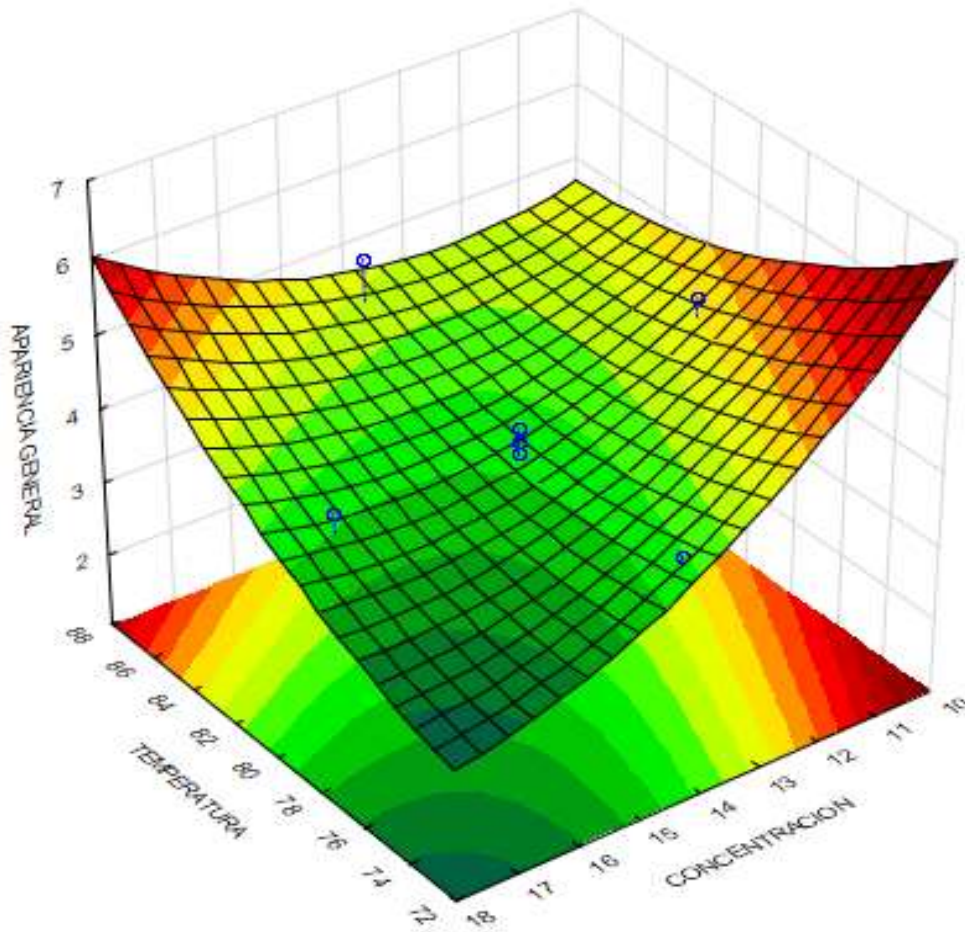
altas son las de mayor aceptabilidad, ello ocurre por que el producto deshidratado sufre una significativa pérdida en la humedad inicial, y aumenta la concentración de aromas y sabores potenciando el sabor del producto proporcionando al alimento un mejor sabor, resultados similares se presentaron en el secado de banana (Gaspareto et al., 2004). Todos los resultados están en la coloracion roja lo que demuestra alta aceptabilidad entre los panelistas, promediando las respuestas el de mayor aceptabilidad resultó ser la muestra secada a 73°C y 14% de concentracion.



**Figura 15: Superficie de respuesta en el sabor de la pulpa de camu camu deshidratada.**

#### **4.8.4. Apariencia general.**

En la Figura 16 observamos que los tratamientos que permiten obtener mejor apariencia general son temperatura de 87°C y concentración de sólidos de 14%, y temperatura de 85°C y concentración de sólidos de 12%. La apariencia general resulta mejor para tratamientos con temperaturas más altas y concentraciones de sólidos elevadas; el producto se vuelve más compacto y mas facil de triturar y obtener en polvo.



**Figura 16: Superficie de respuesta en la apariencia general de la pulpa de camu camu deshidratada.**



## V. CONCLUSIONES

- El proceso para obtener pulpa de camu camu deshidratada fue: Obtención de la materia prima, clasificación, lavado, estrujado, tamizado, adición de coadyuvante de secado (goma arábica), secado, envasado, almacenamiento; obteniendo un rendimiento de pulpa deshidratada de 13.4%).
- Las condiciones adecuadas de procesamiento de secado por ventana refractiva de pulpa de camu camu; fueron: temperatura 85°C, concentración de sólidos de 12%. tiempo de 30 minutos y espesor de muestra de 0.1 cm.
- Se comprobó que el empleo de agente encapsulante (goma arábica) influye significativamente, ya que contribuye a preservar las características sensoriales, así como también el contenido de vitamina C de la pulpa de camu camu deshidratada por el método de secado de ventana refractiva.
- El tratamiento con mejor aceptabilidad en color y olor fue el de 80°C y 12% de concentración, en cuanto al sabor resultó mejor el tratamiento de 73°C y 14% de concentración y finalmente en apariencia general obtuvo la mejor calificación la muestra secada a 87°C y concentración de sólidos de 14%.
- En el proceso de secado por ventana refractiva el tratamiento que permitió obtener la menor pérdida de Vitamina C fue el tratamiento empleando 85°C de temperatura y 12% de sólidos, con un valor final de 1 243 mg de vitamina C/100 gramos de pulpa deshidratada, frente a 1 471 mg de vitamina C/100 gramos de pulpa fresca, lo cual representa una pérdida de 15.5% respecto del contenido inicial.

## VI. RECOMENDACIONES

- ❖ Difundir los resultados obtenidos para los productores, industriales, investigadores, etc; que tengan interés en este cultivo nativo, que se cultiva en la amazonia peruana. Así, podrían optar por este método de secado de Ventana refractiva que es eficiente y de bajo costo.
  
- ❖ Hacer estudios con otras concentraciones en las soluciones empleadas y otros agentes coadyuvantes de secado, temperaturas de secado mayor a 85° C, diferentes espesores de muestra, etc.
  
- ❖ Hacer estudios con un equipo secador de ventana refractiva de flujo continuo, como el usado por Abonyi et al. (2002) y comprobar si es más eficiente que el secador de ventana refractiva por lotes.

## VII. BIBLIOGRAFÍA

- A.O.A.C. (2012).** Official Methods of Analysis. 19th Ed. Association of Official Analytical Chemists, Inc., Virginia, USA.
- Abonyi, B. I.; Feng, H.; Tang, J.; Edwards, C.G.; Chew, B.P.; Mattinson, D.S.; Fellman, J.K. (2002).** Quality Retention in Strawberry and Carrot Purees Dried with Refractance Window System. *Journal of Food Science* Vol. 67(3) p:1051-1056.
- Alimentación Sana, 2008,** “El camu camu: La super vitamina C”. Disponible en: <http://www.alimentacionsana.com.ar/Portal%20nuevo/boletin/alimentacion/252.htm>, (Mayo, 2014).
- Aqualab. (2006).** Actividad de Agua en los Alimentos. Disponible en: [www.aqualab.com](http://www.aqualab.com). (Abril, 2015).
- Arévalo, R.P.; Kieckbusch, T.G. 2003.** Concentración de ácido ascórbico en frutos de camu camu (*Myrciaria dubia* H.B.K. (Mc Vaugh) provenientes de diferentes regiones de São Paulo. In: CONGRESO IBEROAMERICANO DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS, 5., Puerto Vallarta, México, 2005b.
- Barbosa, G. V. y Vega, M. H. (2000).** Deshidratación de Alimentos. Zaragoza - España : Acribia S.A. pp. 235 - 251.
- Bohórquez, P. D; Barrera, G. J. and Oviedo, A E. (2001).** Caracterización fisicoquímica y bromatológica de tres Ecotipos de Cocona (*Solanum sessiliflorum* Dunal) cultivados en el pie de Monte Caqueteño. Trabajo realizado como parte de las Investigaciones dentro del Convenio. s.l. Sinchi Universidad de la Amazonía.
- Correa, S., 2001,** “Cultivo de Camu camu *Myrciaria dubia* H.B.K. en la región de Loreto”, 1ra edición, Lima, Perú, pp: 9 - 30.
- Correa, S. y Aldana, M., 2007,** “Tecnología para la producción de camu camu *Myrciaria dubia* (H.B.K) Mc Vaugh”, 1ra edición, Lima, Perú, pp.7- 44.

- Coste, E. B. (2007).** Selección, entrenamiento y comprobación de jueces para un panel analítico de queso banquete de Tandil. Docotorado. Argentina : Universidad Nacional de Lomas de Zamora.
- Clarke, P. , 2004.** Refractance window TM - "down under". En: 14th International Drying Symposium. Sao Paulo, Brazil, p. 22-25 (B).
- Dupont. 2012.** Mylar® polyester film: Chemical Properties. USA: DUPONT TEIJIN FILMS. 4 p.
- FAO, TCA. (1996).** Procesamiento a pequeña escala de frutas y hortalizas amazónicas. [aut. libro] Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Santiago de Chile : s.n.
- Fao y Agronet, 2004,** “Cultivo de frutales amazonicos”, <http://www.siamazonia.org.pe/archivos/publicaciones/amazonia/libros/44/texto00.htm>, (Agosto, 2014).
- Feng, H., Kang, D., Shan-Xi, S. Y Tang, J. 2001.** Microbiological reduction in refractance window drying of pumpkin purees. En: IFT Annual Meeting, New Orleans, Louisiana, USA IFT.
- Fernandez, M. y Piñero, B. (2006).** Superficie de Respuesta, Métodos y Diseño. s.l. : Mancher, 2006.
- Gahona, H. (2000).** Actividad del Agua. Chile : Universidad de la Serena, 2000.
- Gaspareto, O.; E. Oliveira, P. Da Silva y M. Magalhães. 2004.** Influencia del tratamiento osmótico en el secado de la banana Nanica (*Musa cavendishii*, L.) en secador de lecho fijo. Información Tecnológica 15 (6): 9-16.
- Geankoplis, C. J. (1998).** Procesos de Transporte y operaciones unitarias. México D.F. : Continental S.A., págs. 580 - 585.
- Gimferrer, M. N. (2008).** El agua en los alimentos. Fundación Eroski. [En línea] 26 de Marzo de 2008 .[www.consumer.es/seguridad-alimentaria/ciencia-y-tecnología/2008/03/26/175613.php](http://www.consumer.es/seguridad-alimentaria/ciencia-y-tecnología/2008/03/26/175613.php).

- James, W. y Penn, J., 2006**, “The cultivation of camu camu (*Myrciaria dubia*): a tree planting programme in the Peruvian amazon”, [http://www.google.com/search?q=cache:EIUIA51m5dQJ:www.icuciwmi.org/files/News/\(08\)Penn.pdf+Myrciaria+dubia&hl=es&ct=clnk&cd=12&gl=ec](http://www.google.com/search?q=cache:EIUIA51m5dQJ:www.icuciwmi.org/files/News/(08)Penn.pdf+Myrciaria+dubia&hl=es&ct=clnk&cd=12&gl=ec), (Agosto, 2014).
- Konica M. S. INC. (2003)**. Comunicación Precisa de los colores. [www 2. konicaminolta. eu/eu/Measuring/pcc/es/part4/index.html](http://www.konicaminolta.eu/eu/Measuring/pcc/es/part4/index.html). [En línea]
- Lazo, R. (2015)**. Conservación por liofilización de pulpa camu camu (*Myrciaria dubia* HBK). Tarapoto. Tesis.
- Lima, J. (1999)**. Actividad Acuosa. [www./club.telopolis.com/ohcop/adobleve.html](http://www.club.telopolis.com/ohcop/adobleve.html). [En línea]
- Mcd Technologies INC. 2000**. Refractance window. Tacoma, USA: Washington Technologies Center.
- Montgomery D. C. (2003)**. Diseño y Análisis de experimentos. 2a Ed. Editorial Limusa, S.A.
- Morales, J. – Vélez, J. 2013**. Deshidratación de frutas y hortalizas por Ventana Refractiva. Colombia. Revista recítela. Vol. 13.
- Mendoza, H., 2006**, “Camu Camu”, <http://www.monografias.com/trabajos51/camu-camu/camu-camu2.shtml>, (Julio 2014).
- Nindo, C., Feng, H., Shen, G.Q., Tang, J. Y Kang, D. 2003**. Energy utilization and microbial reduction in a new film drying system. *Journal of Food Processing and Preservation*, vol. 27, p. 117-136.
- Nindo, C., Sun, T., Wang, S., Tang, J. Y Powers, J. 2003**. Evaluation of drying technologies for retention of physical quality and antioxidants in asparagus (*Asparagus officinalis*, L.). 36, vol. *LWT - Food Science and Technology*, p. 507-516.
- Ochoa-Martínez, C.I., Quintero, P.T., Ayala, A.A. Y Ortiz, M.J. 2012**. Drying characteristics of mango slices using the Refractance Window technique. *Journal of Food Engineering*, vol. 109, p. 69-75.

- Palou, E; López, A; Argaíz, A; Welti, J. (1993).** Deshidratación Osmótica de Papaya. Efecto de la Concentración del Jarabe. España : Revista Española de Ciencia y tecnología de Alimentos, Vol. 33, 6, pp. 621 - 630.
- Pott, I; Neidhart, S; Muhlbauer, W; Carle, R. (2005).** Quality improvement of non-sulphited mango slices by. s.l. : Innovative Food Science. pp. 412 - 419.
- Reyes, P. (2008).** Optimización de procesos con superficies de respuesta. México D.F. : Edición Trillas.
- Rubio, H., 2000,** “Camu camu”, Disponible en: [http://www.ecuadorexporta.org/productosd\\_ow/fichadecamu\\_-\\_camuenperu500.pdf](http://www.ecuadorexporta.org/productosd_ow/fichadecamu_-_camuenperu500.pdf). (Agosto, 2014).
- Selvamuthukumar, M. Y Shankar, S.S. 2006.** Optimization of spray drying conditions for production of bifidus milk powder from cow milk. Journal of Food Quality, vol. 29, p. 305-318.
- Singh, P. and Heldman, D. (1998).** Introducción a la Ingeniería de los Alimentos. Zaragoza : Acribia S.A., 1998. pp. 455 - 461.
- Silva Filho, D F, Filho, C J; Noda, H. (1994).** Variabilidad Genética en Poblaciones Naturales de Cocona del Amazonas. Horticultura Brasileira. Brasil : s.n., 1994, Vol. 14, pp. 9 - 15.
- Silva, Filho; Noda, H; Paiva, W O; Machado, F M. (1997).** Hortalizas no convencionales e introducidas en el amazonas en dos décadas de contribución del INPA para investigación agronómica en el trópico húmedo. INPA. Manaus : Hiroshinoda, 1997. pp. 19 - 58.
- Soysal, Y. (2004).** Microwave Drying characteristics of parsley. Byosystems Engineering. Vol. 89, págs. 167 - 173.
- Taira, F ., 2006,** “ Desde la Amazonia: la demanda del camu camu”, <http://www.monografias.com/trabajos34/demanda-camu-camu/demanda-camu-camu.shtml>, (Julio 2014).
- Tecante, C A. (2005).** Operaciones Unitarias Alimentarias. [ed.] Facultad de Química. s.l. Universidad Nacional Autónoma de México.

**Torres, V. (2010).** Determinación del potencial nutritivo y funcional de guayaba (*Psidium guajava* L.), cocona (*Solanum sessiliflorum* Dunal) y camu camu (*Myrciaria dubia* vaugh). Tesis de Titulación de la Escuela Politécnica Nacional-Quito.

**Vanaclocha, A. y Requena, A. (2003).** Procesos de Conservación de Alimentos II. Madrid : Mundi - Prensa, p. 322.

## VIII. ANEXOS

### 8.1. Informe de Ensayo bacteriológico realizado en el Laboratorio referencial de San Martín.

| PERÚ   |  | Ministerio de Salud  | DIRECCION REGIONAL DE SALUD SAN MARTIN<br>LABORATORIO DE REFERENCIA REGIONAL<br>Jr. Tupac Amaru 300 C/ta. s/n - Morales<br>Teléfono: 843-525589 / Telf. 843-521451 |
|--|--|--|--|
| <i>"Año de la Inversión para el desarrollo rural y la seguridad alimentaria"</i>   |  |  |  |
| <b>INFORME DE ENSAYO N° 336 – P/ 2014</b>  |  |  |  |
| <b>SOLICITANTE:</b> ALEX DOMINGUEZ CASTILLO  |  |  |  |
| <b>Dirección:</b> Jr. Ramón Castilla # 752 – Tarapoto  |  |  |  |
| <b>DATOS DE LA MUESTRA</b> ( proporcionados por el solicitante)  |  |  | <b>CONTROL EN EL LABORATORIO ANALITICO</b>   |
| Grupo alimenticio  | Alimento preparado con o sin tratamiento térmico |  | Fecha recepción:<br>23.12.2014 / 7:00 a.m.   |
| Muestreador  | Interesado                                       |  |  |
| Lugar de muestreo  | Laboratorio de Investigación UNSM                |  | Fecha inicio del Ensayo<br>23.12.2014  |
| Fecha de muestreo  | 23.12.2014                                       |  |  |
| <b>R E S U L T A D O</b>   |  |  |  |
| <b>ENSAYO</b>  |  |  |  |
| COD. LAB   | MUESTRA  | Numeración de coliformes totales (NMP/g-mL)  |  |
| 616  | Pulpa deshidratada de camu camu                  | < 0.3  |  |
| <b>METODOS</b>   | ISO-6888-1:1999 / Adu.1.2009                     | ISO-7251-2009 Conf (ICSM)  |  |
| <b>Nota:</b> < 0.3; Es el límite inferior de detección del método.   |  |  |  |
| <small>Los resultados del presente informe corresponden sólo a la cantidad de muestra sometida a ensayo en cada caso. Muestras agotadas en los ensayos</small>   |  |  |  |
| <b>OBSERVACIÓN:</b> La muestra analizada se encuentra dentro de los límites bacteriológicos permisibles para los ensayos arriba indicados. NTS N° 071-MINSA/DIGESA-V.01 / RM. N° 591-2008/ MINSA.  |  |  |  |
| Morales, 29 de Diciembre del 2014  |  |  |  |
| <br>GOBIERNO REGIONAL DE SAN MARTIN<br>M.E. HOSPITAL H. EL YANAPOTO<br>L.R. HOS. REG.<br>Blgo. Dally E. Farietta Malgara<br>DESP. AREA DE ALIMENTOS Y AGUAS |  | <br>DIRECCION REGIONAL DE SALUD<br>LABORATORIO REFERENCIAL REGIONAL<br>Blgo. MSc. Heriberto Arvalo Ramirez<br>DIRECTOR DEL LABORATORIO REFERENCIAL REGIONAL S.P.S.A. |  |

Figura 17: Informe de Ensayo bacteriológico realizado en el Laboratorio referencial de San Martín.



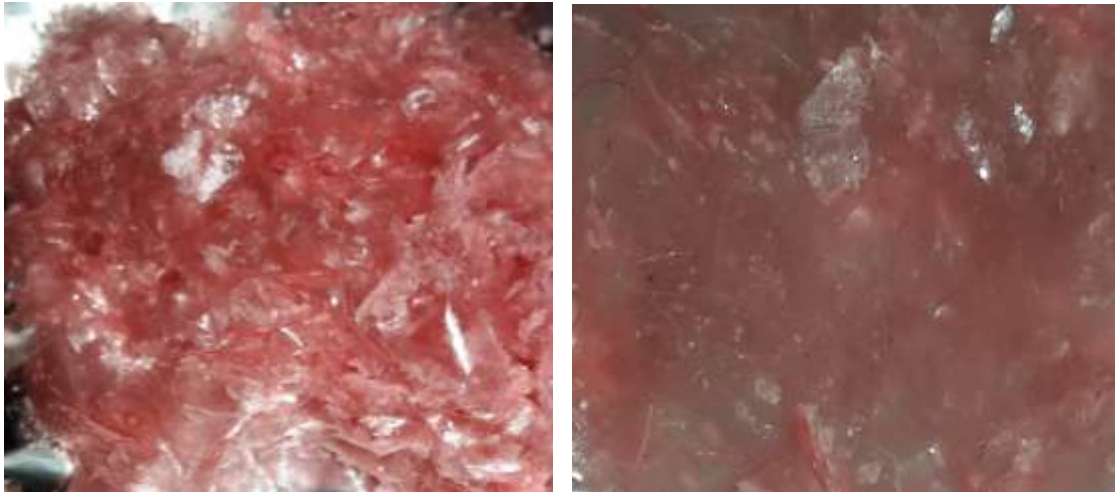
**8.2. MODELO DE ENCUESTA REALIZADA PARA TRATAMIENTOS DE SECADO DE PULPA DE CAMU CAMU DESHIDRATA POR EL MÉTODO DE VENTANA REFRACTIVA.**

Ante usted se presentan 13 muestras numeradas al azar. Evalúe cada una de ellas, colocando una X según la escala que crea conveniente.

**Cuadro 11: Ficha de Encuesta para pulpa de camu camu deshidratada por el método de ventana refractiva.**

| <b>Código:</b>             | <b>ATRIBUTO DE CALIDAD</b> |             |              |                           |
|----------------------------|----------------------------|-------------|--------------|---------------------------|
| <b>Escala</b>              | <b>Color</b>               | <b>Olor</b> | <b>Sabor</b> | <b>Apariencia general</b> |
| Me gusta mucho             |                            |             |              |                           |
| Me gusta ligeramente       |                            |             |              |                           |
| Ni me gusta ni me disgusta |                            |             |              |                           |
| Me disgusta ligeramente    |                            |             |              |                           |
| Me disgusta mucho          |                            |             |              |                           |
| Me disgusta mucho          |                            |             |              |                           |

**8.3. Pulpa deshidratada de camu camu (*Myrciaria dubia* H.B.K) por ventana refractiva.**



**Figura 18: Pulpa deshidratada de camu camu (*Myrciaria dubia* H.B.K) por ventana refractiva.**

**8.4. Cuadro de adición de encapsulante.**

**Cuadro 12: Cuadro de % de adición de encapsulante.**

| [ ] sólidos (%) inicial | [ ] Encapsulante (%) | [ ] sólidos (%) final |
|-------------------------|----------------------|-----------------------|
| 6                       | 5                    | 11                    |
| 6                       | 6                    | 12                    |
| 6                       | 8                    | 14                    |
| 6                       | 10                   | 16                    |
| 6                       | 11                   | 17                    |

## 8.5. Matriz de ensayo previo al adecuado

**Cuadro 13: Matriz de ensayo previo al adecuado**

| Ensayos previos realizados |                            |   |
|----------------------------|----------------------------|---|
| Temperatura °C             | Concentración de sólidos % | Conclusión  |
| 75                         | 7                          | Se determinó el contenido de vitamina C del tratamiento de 80°C y 9% de sólidos, reportando una pérdida de más del 50% de vitamina C. No se determinó el contenido de vitamina C de los demás tratamientos, ya que en estos ensayos se obtenía una masa chiclosa. |
| 75                         | 11                         |   |
| 85                         | 7                          |   |
| 85                         | 11                         |   |
| 80                         | 9                          |   |
| 80                         | 9                          |   |
| 80                         | 9                          |   |
| 80                         | 9                          |   |
| 80                         | 9                          |   |
| 87                         | 9                          |   |
| 73                         | 9                          |   |
| 80                         | 12                         |   |
| 80                         | 6                          |   |

## 8.6. Cuadros ANVA del análisis sensorial.

**Cuadro 14: ANVA para el color**

| Factor              | ANOVA; Var.:COLOR; R-sqr=,65588; Adj:,41008 (Spreadsheet1)<br>2 factors, 1 Blocks, 13 Runs; MS Residual=,2052522<br>DV: COLOR |    |          |          |          |
|---------------------|---|----|----------|----------|----------|
|                     | SS  | df | MS       | F        | p        |
| (1)TEMPERATURA(L)   | 0,309905  | 1  | 0,309905 | 1,509872 | 0,258861 |
| TEMPERATURA(Q)      | 0,447133  | 1  | 0,447133 | 2,178458 | 0,183465 |
| (2)CONCENTRACION(L) | 1,058824  | 1  | 1,058824 | 5,158647 | 0,057370 |
| CONCENTRACION(Q)    | 0,484057  | 1  | 0,484057 | 2,358355 | 0,168491 |
| 1L by 2L            | 0,562500  | 1  | 0,562500 | 2,740531 | 0,141805 |
| Error               | 1,436765  | 7  | 0,205252 |          |          |
| Total SS            | 4,175214  | 12 |          |          |          |
| Total SS            | 4,175214  | 12 |          |          |          |

**Cuadro 15: ANVA para el olor**

| ANOVA; Var.:OLOR; R-sqr=,16148; Adj:0, (Spreadsheet1)<br>2 factors, 1 Blocks, 13 Runs; MS Residual=,3383775<br>DV: OLOR |          |    |          |          |          |
|---|----------|----|----------|----------|----------|
| Factor  | SS       | df | MS       | F        | p        |
| (1)TEMPERATURA(L)   | 0,003507 | 1  | 0,003507 | 0,010365 | 0,921763 |
| TEMPERATURA(Q)  | 0,048900 | 1  | 0,048900 | 0,144513 | 0,715107 |
| (2)CONCENTRACION(L)   | 0,029412 | 1  | 0,029412 | 0,086920 | 0,776682 |
| CONCENTRACION(Q)  | 0,146232 | 1  | 0,146232 | 0,432156 | 0,531946 |
| 1L by 2L  | 0,250000 | 1  | 0,250000 | 0,738820 | 0,418500 |
| Error   | 2,368642 | 7  | 0,338377 |          |          |
| Total SS  | 2,824786 | 12 |          |          |          |

**Cuadro 16: ANVA para el sabor**

| ANOVA; Var.:SABOR; R-sqr=,45595; Adj:,06734 (Spreadsheet1)<br>2 factors, 1 Blocks, 13 Runs; MS Residual=,2271874<br>DV: SABOR |          |    |          |          |          |
|---|----------|----|----------|----------|----------|
| Factor  | SS       | df | MS       | F        | p        |
| (1)TEMPERATURA(L)   | 0,045455 | 1  | 0,045455 | 0,200075 | 0,668173 |
| TEMPERATURA(Q)  | 0,237410 | 1  | 0,237410 | 1,044995 | 0,340686 |
| (2)CONCENTRACION(L)   | 0,000000 | 1  | 0,000000 | 0,000000 | 1,000000 |
| CONCENTRACION(Q)  | 0,021263 | 1  | 0,021263 | 0,093593 | 0,768556 |
| 1L by 2L  | 1,000000 | 1  | 1,000000 | 4,401652 | 0,074088 |
| Error   | 1,590312 | 7  | 0,227187 |          |          |
| Total SS  | 2,923077 | 12 |          |          |          |

**Cuadro 17: ANVA para apariencia general**

| ANOVA; Var.:APARIENCIA GENERAL; R-sqr=,49981; Adj:,14253 (Spreadsheet1)<br>2 factors, 1 Blocks, 13 Runs; MS Residual=,3154434<br>DV: APARIENCIA GENERAL |          |    |          |          |  |
|---|----------|----|----------|----------|--|
| Factor  | SS       | df | MS       | F        |  |
| (1)TEMPERATURA(L)   | 0,629770 | 1  | 0,629770 | 1,996459 |  |
| TEMPERATURA(Q)  | 0,056255 | 1  | 0,056255 | 0,178336 |  |
| (2)CONCENTRACION(L)   | 0,552288 | 1  | 0,552288 | 1,750829 |  |
| CONCENTRACION(Q)  | 0,841285 | 1  | 0,841285 | 2,666993 |  |
| 1L by 2L  | 0,173611 | 1  | 0,173611 | 0,550372 |  |
| Error   | 2,208104 | 7  | 0,315443 |          |  |
| Total SS  | 4,414530 | 12 |          |          |  |