UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

EFECTO DE LA TEMPERATURA Y VELOCIDAD DE AIRE EN EL CONTENIDO DE ÁCIDO ASCÓRBICO DE LA HARINA OBTENIDA A PARTIR DE LA CÁSCARA DEL FRUTO DE CAMU CAMU (*Myrciaria dubia* HBK), PUCALLPA - UCAYALI.

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

GRECIA MELISSA PILCO RAMÍREZ

PUCALLPA – PERÚ

2018

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Pucallpa, a los... 16 ..... días del mes de.. Enero ..... del 20..18
Siendo las..... 12:00 ..... horas y de acuerdo a lo señalado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Ucayali, se reunieron los integrantes del Jurado Calificador nombrados por la DECANATURA, con documento:

Memorando Múltiple N° 002/2018-UNU-URACAD-D.FCA

Para proceder a la sustentación pública de tesis Titulada:
"Efecto de la temperatura y velocidad de aire en el contenido de acido ascorbico de la harina obtenida a partir de la cascara del fruto de camu camu (Myrciaria dubia HBK) Pucallpa - Ucayali."

Presentado por el (la) Bachiller en Ingeniería Agrónomo.... Grecia Melissa PILCO RAMIREZ ... ante el Jurado
Conformado por los siguientes catedráticos:

Dr. Carlos Alberto RAMIREZ CHUMBE ..... (Presidente)

M.V. Victor Alberto FERNÁNDEZ DELGADO ..... (Secretario)

Lic. Celso SANDOVAL DE LA CRUZ ..... (Miembro)

Finalizada la sustentación de la misma se procedió a la evaluación respectiva y en seguida se deliberó llegando a las siguientes conclusiones: el (la) tesista ha sido

APROBADA ..... por ..... MAYORIA ..... quedando el (la) graduado (a) expedito para que se otorgue el Título Profesional de Ingeniero Agrónomo.

Siendo las..... 13:15 ..... Horas del mismo día se dio por concluido la Ceremonia.

.....
Presidente

.....
Secretario

.....
Miembro

DEDICATORIA.

A mis padres: Manuela Ramírez y Wagner Pilco, por su apoyo incondicional, por haber formado en mí una persona con valores.

A mis hermanas: Karen Daciel, Grizzly Cristina, Nadia Mirella, por siempre brindarme sus consejos y fuerza para seguir adelante.

AGRADECIMIENTO.

A Dios, por haberme acogido mediante la gracia, permitiéndome concluir esta etapa de mi vida.

A la Universidad Nacional de Ucayali, por acogerme y brindarme en sus recintos las enseñanzas a través de sus docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial.

A los docentes de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, por haberme guiado en mi formación profesional.

A mis padres, Manuela y Wagner que son el pilar fundamental de mi formación y educación.

A mis hermanas, Karen Daciel, Grizzly Cristina, Nadia Mirella, por el apoyo y entusiasmo que siempre me brindan.

Esta tesis fue aprobada por los Miembros del Jurado Calificador de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Ucayali, como requisito parcial para optar el título profesional de Ingeniero Agroindustrial.

Dr. Carlos Alberto Ramírez Chumbe. ……..…….

Presidente

M.V. Víctor Alberto Fernández Delgado. ….……..…….

Secretario

Lic. Celso Sandoval De La Cruz. …….……

Miembro

Dr. Edgardo García Saavedra. ……..……..……

Asesor

Ing. Caleb Leandro Laguna. ……..……..……

Co Asesor

Bach. Grecia Melissa Pilco Ramírez. ……..…..……

Tesista

ÍNDICE

Pág.

RESUMEN……viii

LISTA DE CUADROS……x

LISTA DE FIGURAS……xi

I. INTRODUCCIÓN 1

II. REVISIÓN DE LITERATURA 4

2.1. GENERALIDADES 4

2.2. CAMU CUMU.....7

2.2.1. Clasificación botánica del camu camu 8

2.2.2. Composición química de la pulpa de camu camu 8

2.2.3. Aprovechamiento agroindustrial 9

2.3. FITOQUÍMICOS PRESENTES EN LOS VEGETALES 10

2.4. FITOQUÍMICOS PRESENTES EN LA CÁSCARA DE CAMU CAMU 11

2.4.1. Ácido ascórbico 11

2.4.2. Polifenoles 13

2.4.3. Antocianinas……...14

2.5. APROVECHAMIENTO INDUSTRIAL DE LA CÁSCARA 15

2.6. DESHIDRATACIÓN DE ALIMENTOS 15

2.6.1. Cinética de secado 17

2.6.1.1. Período de velocidad constante de secado 18

2.6.1.2. Período de velocidad decreciente de secado 18

2.6.2. Factores que influyen en la velocidad de secado 19

2.6.2.1. Condiciones de proceso 19

2.6.2.1.1. Velocidad de secado.....19

2.6.2.1.2. Temperatura 19

2.6.2.1.3. Humedad relativa del aire 20

2.6.2.2. Características del producto 20

2.6.2.2.1. Composición del producto ….....20

2.6.2.2.2. Estructura celular 21

2.6.2.2.3. Forma y tamaño del producto 21

2.6.2.2.4. Cambios durante la deshidratación 21

III. MATERIALES Y MÉTODO 24

3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN 24

3.2. MATERIALES 24

3.2.1. Materia prima 24

3.2.2. Reactivos 24

3.2.3. Materiales 24

3.2.4.Instrumentos…….....25

3.2.5. Equipos 25

3.3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL 25

3.3.1. Obtención de la harina de cáscara de camu camu 25

3.3.1.1. Recolección 25

3.3.1.2. Oreado 26

3.3.1.3. Secado 26

3.3.1.4. Molienda 26

3.3.1.5. Tamizado.....26

3.3.1.6. envasado 27

3.4. MÉTODOS ANALÍTICOS 27

3.4.1. Caracterización fisicoquímica de la muestra 27

3.4.1.1. Determinación de humedad 27

3.4.1.2. Determinación de pH 28

3.4.1.3. Determinación de ceniza 28

3.4.1.4. Determinación de ácido ascórbico 29

3.5. **DISEÑO ESTADÍSTICO DE LA INVESTIGACIÓN 30**

3.5.1. Diseño experimental 30

3.5.2. Análisis estadístico 31

3.5.3. Tipo y nivel de investigación 31

3.5.3.1. Tipo de investigación.....31

3.5.3.2. Nivel de investigación.....31

3.5.4. Población y muestra 32

3.6. MEDICIÓN DE LAS VARIABLES INDEPENDIENTES Y DEPENDIENTES. 32

3.6.1. Variables independientes 32

3.6.2. Variables dependientes 32

3.7. DESCRIPCIÓN DE TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓ DE DATOS…… 32

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN …… 33

4.1. OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LA CÁSCARA DE CAMU CAMU.....33

4.2. SECADO DE LA CÁSCARA DE CAMU CAMU 34

4.2.1. Cinética de secado de la cáscara de camu camu 34

4.3. CARACTERIZACIÓN DE LA HARINA DE CÁSCARA DE CAMU CAMU…….. 36

4.4. CONTENIDO DE ÁCIDO ASCÓRBICO DE LA HARINA DE CÁSCARA DE CAMU CAMU……. 38

V. CONCLUSIONES 44

VI. RECOMENDACIONES 45

VII. LITERATURA CONSULTADA……. 46

VIII. ANEXO……..... 51

RESUMEN.

La abundante información sobre el aprovechamiento de la pulpa de camu camu debido a su contenido en ácido ascórbico, abrieron luces al posible aprovechamiento agroindustrial de la cáscara en forma de harina. El objetivo de la investigación fue evaluar el efecto de la temperatura y la velocidad de aire en el contenido de ácido ascórbico de la harina obtenida a partir de la cáscara del fruto de camu camu (*Myrciarira dubia* HBK). Se aplicó un diseño Completo al azar con arreglo factorial 2x2 con tres repeticiones. Los resultados pusieron de manifiesto que los factores temperatura de secado y velocidad de aire ejercen un efecto altamente significativo en el contenido de ácido ascórbico de la harina obtenida a partir de la cáscara de camu camu, siendo menor el contenido de ácido ascórbico (5235.48 ± 174.47 mg/100 g) cuando el secado se realizó a la temperatura de 50 °C y velocidad de aire de 2.0 m/s; mientras que el mayor contenido de ácido ascórbico (7920.24 ± 320.12 mg/100 g) se obtuvo cuando el secado se realizó a la temperatura de 60 °C y velocidad de aire de 2.5 m/s.

Los resultados de la investigación ponen de manifiesto que es necesario proponer el aprovechamiento agroindustrial de la cáscara de camu camu bajo la forma de harina (por su contenido en ácido ascórbico). Sin embargo, el secado de la cáscara debe hacerse a la temperatura de 60 °C y velocidad de aire 2.50 m/s, porque a esas condiciones de secado ocurre menor degradación del ácido ascórbico.

Palabras clave: Camu camu, cáscara, ácido ascórbico, secador de bandeja.

ABSTRACT.

The abundant information about the utilization of the camu camu pulp due to its ascorbic acid content, they opened lights to the possible agroindustrial use of the shell in the form of flour. The objective of the research was to evaluate the effect of temperature and air velocity on the ascorbic acid content of the flour obtained from the husk of the camu camu fruit (*Myrciarira dubia* HBK). A complete random design was applied with a 2x2 factorial arrangement with three repetitions. The results showed that the drying temperature and air velocity factors exert a highly significant effect on the ascorbic acid content of the flour obtained from the camu camu husk, with a lower content of ascorbic acid (5235.48 ± 174.47). mg/100 g) when the drying was carried out at a temperature of 50 °C and an air velocity of 2.0 m/s; while the highest content of ascorbic acid (7920.24 ± 320.12 mg / 100 g) was obtained when drying was carried out at a temperature of 60 °C and an air velocity of 2.5 m/s.

The results of the investigation show that it is necessary to propose the agroindustrial use of the camu camu husk in the form of flour (for its content in ascorbic acid). However, the drying of the husk should be done at the temperature of 60 °C and air speed 2.50 m/s, because at these drying conditions occurs less degradation of ascorbic acid.

Keywords: Camu camu, shell, ascorbic acid, tray dryer.

LISTA DE CUADROS.

Pág.

Cuadro 1. Composición nutricional de la pulpa de camu camu. ……... 9

Cuadro 2. Características fisicoquímicas de la cáscara de camu camu Fresca. …….. 33

Cuadro 3. Características fisicoquímicas de la harina de cáscara de camu camu por tratamiento. …… 37

Cuadro 4. Análisis de Varianza para el contenido de ácido ascórbico. .. 39

Cuadro 5. Comparación Múltiple de Tukey para el contenido de ácido ascórbico por velocidad de aire. …… 40

Cuadro 6. Comparación Múltiple de Tukey para el contenido de ácido ascórbico por Temperatura. …… 40

Cuadro 7. Comparación Múltiple de Tukey para el contenido de ácido ascórbico por Tratamiento. …….. 43

Cuadro 8. Resumen estadístico para el contenido de ácido ascórbico . 59

Cuadro 9. Análisis para ácido ascórbico por tratamientos. ……... 59

Cuadro 10. Prueba de verificación de varianza. 59

Cuadro 11. Valores promedio para el contenido de ácido ascórbico por Tratamiento. 60

Cuadro 12. Valores promedio para el contenido de ácido ascórbico para el arreglo factorial. 60

Cuadro 13. Variacion del peso durante el secado de la cascara de camu Camu. ……... 61

LISTA DE FIGURAS.

Pág.

Figura 1. Curva de velocidad de secado (BC: Periodo de velocidad constante y CE: Período de velocidad decreciente. ..…….. 17

Figura 2. Diagrama de flujo para la obtención de harina a partir de la cáscara de Camu Camu. ……..……... 26

Figura 3. Variación del peso en función del tiempo, para el secado de la cáscara de camu camu a 50 °C y 2.0 m/s. ……..……. 34

Figura 4. Variación del peso en función del tiempo, para el secado de la cáscara de camu camu a 50 °C y 2.5 m/s. ……..……. 35

Figura 5. Variación del peso en función del tiempo, para el secado de la cáscara de camu camu a 60 °C y 2.0 m/s. ……..……. 35

Figura 6. Variación del peso en función del tiempo, para el secado de la cáscara de camu camu a 60 °C y 2.5 m/s. ……..……. 36

Figura 7. Contenido de ácido ascórbico en la harina obtenida a partir de la cáscara de camu camu, por tratamiento. ……..…….. 38

Figura 8. Efecto de la interacción Temperatura-Velocidad de aire, en el contenido de ácido de ácido ascórbico, para cada nivel de temperatura del aire. …….. 41

Figura 9. Efecto de la interacción Temperatura-Velocidad de aire, en el contenido de ácido ascórbico, para cada nivel de velocidad de aire. ……. 42

En el anexo:

Figura 10. Contenido de ácido ascórbico por Temperatura. 56

Figura 11. Contenido de ácido ascórbico por velocidad de aire 56

Figura 12. Probabilidad Normal. 57

Figura 13. Caja y Bigotes. 57

Figura 14. Medias de los tratamientos. 58

Figura 15. Residuos para ácido ascórbico. 58

Figura 16. Secador de bandejas modelo Armfield. 64

Figura 17. Muestras de cáscara de camu camu. 64

Figura 18. Programando el equipo, según los tratamientos. 65

Figura 19. Acondicionamiento de las muestras en las bandejas. 65

I. INTRODUCCIÓN.

El camu camu (*Myrciria dubia*), en la región Ucayali es considerado un producto bandera, en muchas investigaciones se viene demostrando que es un fruto con gran potencial en el sector agroindustrial. Actualmente se viene produciendo muchos derivados como néctares, vinos, helados, caramelos, mermeladas, deshidratados.

En nuestra región la mayor parte de la producción de camu camu se orienta a la producción de pulpa, la que es requerida en el mercado local, regional, nacional e internacional. Además de la transformación agroindustrial de la fruta a pulpa, también hay empresas que efectúan el secado del fruto (verde y verde pintón) para la obtención de harina, lo cual es vendido en esa presentación a empresas de la capital, donde realizan el encapsulado para su exportación.

El potencial económico de esta fruta es que contiene Ácido Ascórbico y otros fitoquímicos que intervienen en la totalidad de nuestro metabolismo: síntesis del colágeno, síntesis hormonales, estimulación de la cicatrización y propiedades antioxidantes. Dichos compuestos se encuentran en la pulpa; sin embargo, investigaciones actuales reportan que también se encuentran en la cáscara del fruto.

El proceso agroindustrial en forma de pulpa acarrea problemas de acumulación de desechos orgánicos (cáscara), Aproximadamente el 25% en peso del fruto corresponde a la cáscara. Si bien es cierto, existen estudios sobre la posibilidad de aprovechamiento de la cáscara de camu camu; pero no en la forma de harina; más aún, se desconoce cómo es afectado el Ácido Ascórbico durante el secado.

El secado por convección (en la que se manipula la velocidad del aire y temperatura) es la operación más frecuente en los alimentos. Sin embargo, los tiempos prolongados del proceso, la deformación del material y la degradación sustancial de los nutrientes (Ácido Ascórbico), ha dado lugar a diversas investigaciones en ésta área. Por tanto, se plantea la siguiente interrogante: ¿Afectará la temperatura y la velocidad de aire en el contenido de Ácido Ascórbico de la harina obtenida a partir de la cáscara del fruto de camu camu (*Myrciarira dubia* HBK)?

Al ser el camu camu (*Myrciarira dubia* HBK) un producto agroindustrial representativo de la región Ucayali se viene incentivando su cultivo para incrementar la frontera agrícola, esta ampliación significa mayor área de cultivo, por tanto, mayor producción de frutos; esto implica un incremento en la cantidad de desechos (cáscara y semilla, aproximadamente un 50% en peso del fruto) durante la transformación industrial del fruto, constituyéndose en un problema ambiental.

Existe deficiente información sobre la variación del contenido de Ácido Ascórbico durante el secado de la cáscara del fruto de camu camu, cuyo conocimiento abriría las puertas para nuevas formas de aprovechamiento, bajo la forma de cápsulas con concentraciones significativas de Ácido Ascórbico.

Es una alternativa de solución a la contaminación ambiental debido a la acumulación de desechos agroindustriales; a la vez podría dar origen a nuevos productos del camu camu (cápsulas), buscando incrementar la cadena de valor.

Además, los resultados pondrán énfasis los factores que alteran el contenido de Ácido Ascórbico durante el secado de la cáscara contribuyendo

así al uso sostenible de los recursos biológicos nativos, buscando la promoción de nuevos productos a partir de los subproductos del procesamiento de camu camu e incrementar la cadena de valor contribuyendo así a mejorar las condiciones de vida del productor.

Se tuvo como objetivo evaluar el efecto de la temperatura y la velocidad de aire en el contenido de Ácido Ascórbico de la harina obtenida a partir de la cáscara del fruto de camu camu (*Myrciarira dubia* HBK).

II. REVISIÓN DE LITERATURA.

2.1. GENERALIDADES.

En la publicación de la investigación: “Secado de ají tabasco (*Capsicum frutescens*) mediante deshidratación por convección forzada”. Se afirma que, entre las condiciones para desarrollar el proceso de secado con aire caliente por convección forzada, destacan la temperatura y la velocidad de flujo de aire, debido a su influencia en la velocidad de secado y el tiempo del proceso, al igual que en las características organolépticas del producto final. Determinaron temperatura y velocidad de flujo de aire óptima para deshidratar el ají tabasco. Para ello, muestras de pasta del ají sometieron a secado a temperaturas de 40 ºC, 45 ºC, 50 ºC, 55 ºC, 60 ºC, 65 ºC y 70 °C. Teniendo en cuenta las características del ají al final de secado y la forma como transcurrió el proceso, eligieron la más apropiada (Rocha, *et al*., 2016).

En los resultados de la investigación: “Propiedades técnico-funcionales de la fibra dietaria de cáscaras de Mango variedad Hilacha (*Mangifera indica* L.): Efecto del secado por convección”. Se menciona que la cáscara de mango contiene niveles considerables de fibra dietaria que podrían ser utilizados en la elaboración de productos alimenticios. Caracterizaron fisicoquímicamente la Cáscara de Mango Hilacha (CMH) y evaluaron el efecto de cinco temperaturas de secado sobre las propiedades técnico-funcionales de la fibra dietaria; Capacidad de Hinchamiento (CH), Capacidad de Retención de Agua (CRA) y Capacidad de Adsorción de Lípidos (CAL), características que determinan en gran medida la calidad de la fibra dietaria (FD). Los resultados indicaron que la CMH tiene un contenido de fibra dietaria total, proteína, extracto etéreo, carbohidratos y fibra cruda similar al de otras variedades de mango. La cáscara

de mango hilacha seca y molida, es una promisoria fuente de FD, ya que su calidad no se vio afectada significativamente por el proceso de secado (Hincapié, *et al*., 2014).

En el trabajo de investigación: “Evaluación psicométrica de un deshidratador de bandeja para alimentos”. Evaluaron la deshidratación de tres frutas: banano (Musa paradisica*)*, piña (*Ananas comosus*,) tomate (*Solanum lycopersicum)*. Utilizaron como instrumento de medición un termo-higrómetro digital, el cual hizo los reportes de temperatura, humedad relativa y punto de recocido. Diseñaron un software en Excel el cual convirtió los reportes de temperatura y humedad relativa en valores de presión y de humedad de aire. Estudiaron el comportamiento de diferentes productos durante la deshidratación. Los sensores ubicaron en la entrada y la salida de la cámara para evaluar el comportamiento del secado de las frutas. El software presentó graficas de: pérdida de peso en función del tiempo, porcentaje de humedad del alimento en función del tiempo, velocidad de secado en función del tiempo, la relación de la fracción molar del aire y el efecto de la fracción molar en relación con velocidad de secado (Luna, *et al*., 2014).

En la investigación: “Modelos cinéticos de degradación de carotenoides, polifenoles y actividad antioxidante durante el secado convectivo de zanahoria (*Daucus carota* V. Nantesa)”. Determinaron los parámetros cinéticos del modelo que describe la influencia de la temperatura de secado en la degradación de carotenoides, polifenoles totales, y la actividad antioxidante en zanahoria. Acondicionaron las muestras a una geometría cilíndrica (diámetro $1{,}85 \times 10^{-2}$ m, y longitud 2×10^{-2} m), y deshidratadas en un secadero convectivo, en un rango de temperatura de 40 °C a 90 °C y a una velocidad de aire de 3,85

m/s hasta alcanzar una humedad final de 0,6kg agua/kg ss. Las velocidades de degradación modelizaron a una cinética de primer orden. La temperatura de secado en el rango trabajado (40 ºC- 90 °C), influyeron sobre las constantes de velocidad de reacción en todos los casos, ajustándose adecuadamente a la ecuación del modelo de Arrhenius, identificando la energía de activación (*E*a) para la reacción de degradación en cada uno de los compuestos estudiados (Uurrea, *et al*., 2012).

En la publicación del artículo: “Optimización de humedad y textura en snacks de manzana, evaluando espesor y temperatura de secado”. El objetivo fue optimizar el efecto de la temperatura del aire de secado y espesor sobre la humedad final y la textura de rodajas de manzana (*Malus domestic*) var. Granny Smith. Trabajaron empleando la metodología de superficie de respuesta, llevaron a cabo los tratamientos a temperaturas comprendidas entre 50 y 70 °C, y con espesores desde 1 a 4 mm; para ello emplearon un secado convectivo. Para evitar el pardeamiento de las rodajas de manzana, lo sumergieron en una solución de ácido cítrico para evitar el pardeamiento enzimático, y un pre tratamiento en una solución de sacarosa al 40 °Brix con la finalidad de reducir los tiempos de deshidratación debido a la reducción de la cantidad de agua libre contendida en la manzana, obtuvieron como resultado que a la temperatura de 60 °C y un espesor de 2,5 mm se minimiza la humedad final y se maximiza la aceptabilidad del snack (Alva, *et al*., 2013).

En la investigación: “Efecto de la temperatura de secado sobre las propiedades funcionales de la fibra dietaria presente en la citropulpa”. Se afirma que el aprovechamiento de residuos agroalimentarios es un tema de investigación actual, por el valor nutricional que conservan muchos de ellos, y

por la disminución del impacto ambiental negativo generado. El secado es una etapa necesaria e importante para la conservación y procesamiento de los residuos, se presentan modificaciones fisicoquímicas y funcionales de algunos componentes nutricionales que aportan funcionalidad al material alimentario, como es el caso de la fibra dietaria (FD). Determinaron la cinética de secado del residuo proveniente de la extracción del jugo de naranja variedad Valencia a 40 °C, 45 ºC, 50 ºC, 55 ºC y 60 ºC, a una velocidad constante de 3m/s; a estas condiciones evaluaron el contenido y las propiedades funcionales de la FD; la capacidad de hinchamiento (CH), la capacidad de retención de agua (CRA), y la capacidad de adsorción de lípidos (CAL). Encontraron que a 50 °C se conservan mejor las propiedades funcionales de la FD y que se requieren 19,75 horas para lograr una humedad de 0,12 kg agua/kg muestra seca (Hincapié, *et al*.,2010).

2.2. CAMU CAMU.

El camu camu es originario de algunos afluentes peruanos del río Amazonas. Es un frutal nativo de la selva amazónica, se presenta prácticamente en todos los ríos, más comúnmente en aquellos de aguas oscuras por la abundante presencia de materia orgánica, pertenece a la familia *Myrtaceae* (PromAzonia, s.f.).

El camu camu (*Myrciaria dubia)* es el tipo arbustivo, fue identificado por Mc Vaugh en 1958, inicialmente como *Myrciaria paraensis* Berg; luego, el mismo Mc Vaugh (1963), cambió la nomenclatura a *Myrciaria dubia* H.B.K. Este tipo de camu camu arbustivo es el que tiene mayor posibilidad de exportación, en cantidad y calidad. El camu camu puede alcanzar siete metros de altura. La

planta ideal es aquella que presenta una copa abierta o cónica, porque la producción del fruto es mayor, debido a la mayor ramificación (PROAPA-GTZ, 2000).

El Perú es el mayor productor mundial de camu camu, frutal arbustivo que crece en forma silvestre en las riberas inundables de los ríos y cochas de la Amazonía. El camu camu se produce en las regiones de Loreto y Ucayali y, en pequeñas cantidades, en la región San Martín. En Loreto y Ucayali existían al 2010 unas 750 hectáreas de plantaciones de camu camu en producción, 400 y 350, respectivamente (PromAzonia, s.f.).

2.2.1. Clasificación botánica del camu camu.

Las características taxonómicas del camu camu tipo arbustivo (Iman, 2000), son:

División: Fanerogama

Clase: Dicotiledonea

Orden: Myrtifloriaea

Familia: Myrtaceae

Género: *Myrciaria*

Especie: *dubia* (H.B.K) Mc. Vaugh.

2.2.2. Composición química de la pulpa de camu camu.

En el Cuadro 1, se muestra la composición nutricional de la pulpa de camu camu por cada 100 g de pulpa de camu camu.

Cuadro 1. Composición nutricional de la pulpa de camu camu.

Componente	Unidad	Valor
Agua	G	94,4
Valor energético	cal.	17,0
Proteínas	G	0,5
Carbohidratos	G	4,7
Fibra	G	0,6
Ceniza	G	0,2
Calcio	mg	27,0
Fosfato	mg	17,0
Fierro	mg	0,5
Tiamina	mg	0,01
Riboflavina	mg	0,04
Niacina	mg	0,062
Ácido ascórbico reducido	mg	2780
Ácido ascórbico	mg	2994

FUENTE: Procamusa (2012).

La principal característica de la fruta es su alto contenido de ácido ascórbico, su contenido oscila entre 18 y 27,8 mg por g de pulpa de camu camu. Comparada con la naranja, el camu camu proporciona 30 veces más ácido ascórbico, 10 veces más hierro, tres veces más niacina, dos veces más riboflavina, y cincuenta por ciento más fósforo, Cooperativa Amazónica, 2008, citado por (Procamusa, 2012).

La pulpa de camu camu procedente de los cultivos de Yarinacocha muestra alta concentración de ácido ascórbico: 1921,3 mg/100g de pulpa (García, *et al*.,2012).

2.2.3. Aprovechamiento agroindustrial.

La agroindustria se dedica a la comercialización de pulpa congelada. También se comercializa en menor proporción los derivados de

camu camu, como; néctar, mermelada, caramelos, helados. Durante la elaboración de estos productos pierde sus características nutricionales y organolépticas, estas consideraciones llevaron a pensar en procesos adecuados para el tratamiento de este fruto, pues además del ácido ascórbico, su calidad también radica en el color de la pulpa, sabor y aroma, cuya conservación exige cuidados especiales en su manufactura, que permita aprovechar al máximo sus particularidades (Vega, 2002).

En la ciudad de Pucallpa se viene realizando la transformación agroindustrial obteniéndose harina de camu camu, pulpa atomizada, liofilizada, que son comercializados en el exterior. Estos son transformados en productos con alto valor agregado como polvos hidrolizables, complementos vitamínicos. Es importante la aplicación de tecnologías que permitan conservar el ácido ascórbico. Esta vitamina es considerada como muy sensible y lábil, que se deteriora fácilmente en medio acuoso, alcohólico; además, por oxidación, cambios de pH, temperatura y acción de la luz, entre otros (Fennema, 2000).

2.3. FITOQUÍMICOS PRESENTES EN LOS VEGETALES.

Son sustancias químicas encontradas únicamente en tejidos vegetales, los cuales se presentan en cantidades variadas siendo los responsables de impartir el color y sabor en éste. Además de esta función en los alimentos, los fotoquímicos, siendo componentes naturales bioactivos encontrados, trabajan con nutrientes presentes en los alimentos para proteger el organismo contra enfermedades. Unos actúan como antioxidantes, otros estimulan sistemas enzimáticos y otros alteran la producción de hormonas, estimulando el sistema inmunológico o con efecto antiviral y/o antibacterial. Estudios sugieren que los

fotoquímicos también ayudan a disminuir el proceso de envejecimiento y a reducir el riesgo de muchas enfermedades que incluyen desde el cáncer, enfermedades del corazón, infartos, presión sanguínea elevada entre otros (Bloch, *et al*., 1995).

Son metabolitos secundarios, no ejercen función directa en las actividades fundamentales del organismo vegetal, como el crecimiento o la reproducción. Diversos estudios han demostrado las propiedades y acciones que los fotoquímicos pueden desempeñar en la salud humana: mejoran el sistema inmunológico, son antioxidantes (por esto disminuyen la aparición de enfermedades cardiovasculares y cerebrovasculares). Previenen la aparición del cáncer. Disminuyen los contenidos de lípidos sanguíneos. Estimulan sistemas enzimáticos y alteran la producción de hormonas, activando el sistema inmunológico o con efecto antibacterial y/o antiviral. Ayudan a retardar el proceso de envejecimiento. Son reguladores del crecimiento (Bonafine, *et al*.,2006).

2.4. FITOQUÍMICOS PRESENTES EN LA CÁSCARA DE CAMU CAMU.

Muchos estudios demuestran la existencia de fotoquímicos en la cáscara del fruto de camu camu, los que en muchos casos su presencia o concentración es considerable.

2.4.1. Ácido ascórbico.

Es un compuesto altamente polar, altamente soluble en agua, e insoluble en solventes no-polares. El ácido ascórbico actúa como agente reductor en reacciones de hidroxilación o reacciones de óxido-reducción (son reacciones donde ocurre transferencia de electrones entre especies,

permitiendo la oxidación de una especie y llevando la otra especie a ser reducida). Es considerada como el agente reductor más reactivo que puede ocurrir en forma natural en el tejido viviente, también es considerada como nutriente esencial para el ser humano, ya que éste no puede sintetizarlo por sí solo (Fennema, 2000).

Esta vitamina debe ser obtenida a través de la dieta, es considerada como un nutriente esencial debido a su importante rol en el funcionamiento del sistema humano. Dentro de los roles que posee, se encuentra la síntesis de colágeno (componente estructural importante en los vasos sanguíneos, tendones, ligamentos y huesos). También juega un rol importante en la síntesis de norepinefrina (crítico neurotransmisor para la función cerebral). Además, el ácido ascórbico se requiere para la síntesis de carnitina (pequeña molécula esencial en el transporte de grasas a los organelos celulares llamados mitocondrias), para la conversión de energía (Mahan, *et al*., 1992).

Estudios recientes también sugieren que el Ácido Ascórbico está envuelto en el metabolismo de colesterol a ácidos biliares, lo cual a su vez tiene implicaciones en los niveles de colesterol en sangre y la incidencia de colelitiasis (cálculos o piedra en vesícula) (Simon, *et al*., 2000).

El ácido ascórbico también es considerado como un antioxidante altamente efectivo. Aún en cantidades pequeñas, esta vitamina puede proteger moléculas indispensables en el cuerpo, tales como proteínas, lípidos, hidratos de carbono y ácidos nucleicos (DNA y RNA). Ésta los protege de daños causados por radicales libres (moléculas altamente reactivas con oxígeno) o por especies de oxígeno reactivo que puede ser generado por el metabolismo

normal o por exposición a toxinas y contaminantes. El ácido ascórbico también es capaz de regenerar otros antioxidantes presentes como por ejemplo la vitamina E (Carr, *et al*, 1999).

El mayor contenido de ácido ascórbico en estado fresco se presenta en la cáscara de camu-camu madura con 21,95 ± 1,18 $mg.g^{-1}$ de ácido ascórbico, seguida por el pintón 20,50 ± 0,39 $mg.g^{-1}$ de ácido ascórbico y luego la verde 13,78 ± 1,24 $mg.g^{-1}$ de ácido ascórbico. Luego del secado, el mayor contenido de ácido ascórbico se presenta en la cáscara del fruto pintón con 53,49 ± 9,40 $mg.g^{-1}$ de ácido ascórbico, seguido por la cáscara del fruto maduro 16,41 ± 3,64 $mg.g^{-1}$ de ácido ascórbico y luego la cáscara del fruto verde 15,38 ± 5,81 $mg.g^{-1}$ de ácido ascórbico, esta variación de concentración de ácido ascórbico, presenta relación con el contenido de acidez, debido a que los ácidos presentes en la fruta, facilitan la degradación del ácido ascórbico, así como la presencia de enzimas, antocianinas, paralelamente el ácido ascórbico es deteriorado por la presencia de agua, que es proporcionado por la fruta Lee y Chen, 1998 citado por (Villanueva, 2010).

Por otro lado, otros estudios demostraron que la cáscara fresca contiene: 21,72 ± 0,50 $mg.g^{-1}$ de ácido ascórbico (García, *et al*., 2015).

2.4.2. Polifenoles.

Estos pigmentos son muy abundantes en los vegetales, a los que dan sus aromas y colores particulares. Los polifenoles constituyen una de las principales clases de metabolitos secundarios, por ahora se conocen más de 8000 estructuras, y aunque son de difícil clasificación, se pueden subdividir en cuatro grandes grupos: ácidos fenólicos, lignanos, taninos y flavonoides, (Bonafine, *et al*., 2006).

La cáscara seca del fruto maduro presenta la concentración de polifenoles totales con 6,02 ± 0,48 $mg.g^{-1}$ expresado como ácido gálico, la cáscara seca del fruto pintón contiene 7,70 ± 0,26 $mg.L^{-1}$ expresado como ácido gálico, mientras que la cáscara seca del fruto verde mostró la menor concentración de polifenoles totales con 5,95 ± 0,13 $mg.L^{-1}$ expresado como ácido gálico (Villanueva, 2010).

Por otro lado, otros estudios demostraron que la cáscara de camu camu maduro contiene polifenoles: 5,52 ± 0,39 $mg.g^{-1}$ expresado como ácido gálico (García *et al*., 2015).

2.4.3. Antocianinas.

Constituyen un grupo de pigmentos flavonoides hidrosolubles (glucósidos), que están en solución en las vacuolas de las células vegetales de frutos, flores, tallos y hojas. Estos pigmentos confieren el color rojo azulado a los vegetales, el cual se modifica según la acidez de la solución en que se encuentran, algunas veces se esconden por la presencia de otros pigmentos, como la clorofila en algunas células vegetales, y preferentemente, se haya en las frutas de color rojo violeta.

Los antocianos se pueden perder por efecto de su solubilidad en el agua (lixiviación), debido a la acción de compuestos reactivos, como azúcares reductores, fenoles y aminoácidos, como consecuencia de las reacciones enzimáticas que se efectúan de manera natural en el fruto, y por la contaminación metálica que se produce en los productos enlatados (Bonafine, *et al*., 2006).

La cáscara del fruto maduro fresco presenta la concentración más elevada de antocianinas con 46,42 ± 0,52 $mg.L^{-1}$ expresado como de cianidin-

3-glucósido, mientras que la cáscara seca del fruto pintón mostró la menor concentración de antocianinas con 3,83 ± 0,11 $mg.L^{-1}$ expresado como cianidin-3-glucósido (Villanueva, 2010). Por otro lado, otros estudios demostraron que la cáscara fresca contiene antocianinas: 43,02 ± 3,16 $mg.L^{-1}$ de cianidina-3-glucósido (García, *et al*., 2015).

2.5. APROVECHAMIENTO INDUSTRIAL DE LA CÁSCARA.

Actualmente se desconoce sobre el aprovechamiento agroindustrial de la cáscara del fruto maduro de camu camu. Se tiene conocimiento de la existencia de trabajos de investigación sobre la posibilidad de aprovechar la cáscara de frutos maduros para la elaboración de una bebida isotónica, también de otro trabajo sobre la extracción de colorante de la cáscara para estandarizar el color de la pulpa.

Por otro lado, hay empresas agroindustriales en nuestra región que vienen realizando el secado y posterior molienda para la obtención de harina de camu camu de frutos verdes y verde pintón, sólo en este caso se utiliza la cáscara del fruto.

2.6. DESHIDRATACIÓN DE ALIMENTOS.

El secado o deshidratación de los alimentos permite preservar alimentos altamente perecederos, especialmente frutas y hortalizas, cuyo contenido de agua es típicamente superior al 90%. El objetivo principal es reducir el contenido de humedad de los alimentos, lo cual disminuye su actividad enzimática y la capacidad de los microorganismos para desarrollarse sobre el alimento. El deshidratado con aire caliente forzado es el método más común

para secar productos alimenticios. En este método, el aire caliente remueve el agua en estado libre de la superficie de los productos. La deshidratación mediante este método depende de la velocidad y temperatura del aire empleado (Laguna, 2015).

Las temperaturas de secado inferiores a 65 °C permiten preservar el color y sabor del tomate. A estas temperaturas también se preservan mejor los compuestos, tales como polifenoles, flavonoides, licopeno, β-caroteno y ácido ascórbico (Toor, *et al*., 2006 citado por Ochoa-Reyes, *et al*., 2013). Además de la temperatura y el tiempo de deshidratado, el incremento en la superficie de contacto del alimento con el fluido deshidratante también incrementa la velocidad de movimiento del agua desde el alimento hacia el exterior del mismo. Esto se logran rebanando y perforando el producto (Rajkumar, *et al*., 2007 citado por Ochoa-Reyes, *et al*., 2013).

Existen muchas técnicas de deshidratación de alimentos, entre las que podemos mencionar: Secado solar, secado con aire caliente forzado, deshidratación osmótica, deshidratado con microondas, deshidratación: deshidratación en bandejas, rotatoria, tambor, lecho fluidizado, atomización, liofilización (Laguna, 2015).

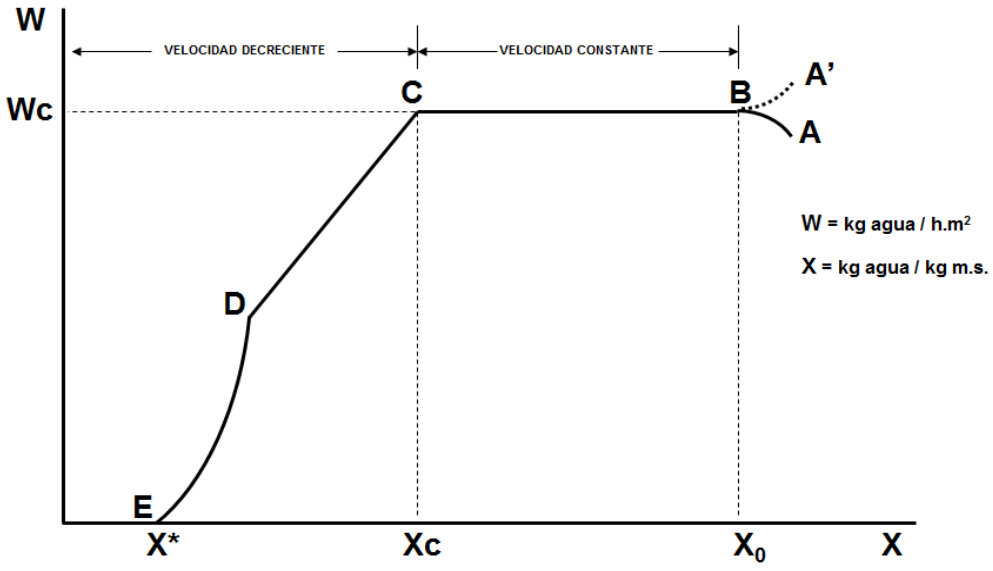
En el secado por aire caliente, por lo general es común el uso de altas temperaturas, lo cual representa su principal desventaja (Sharma y Prasad, 2001 citado por Ochoa-Reyes, *et al*., 2013), puesto que causa cambios drásticos en el sabor, color, contenido de nutrientes, componentes aromáticos, densidad, capacidad de absorción de agua y concentración de solutos (Maskan, 2001 citado por Ochoa-Reyes, *et al.,* 2013). Tiempos y temperaturas

elevadas de deshidratación también causan la formación de aromas indeseables y la reacción de Maillard en tomates (Boudhrioua, *et al.,* 2003).

El flujo del aire caliente puede ser a contracorriente o en paralelo. La deshidratación con aire caliente a contracorriente es más eficiente que la que se logra con el flujo de aire en paralelo. (Unadi, *et al*., 2002 citado por Ochoa-Reyes, *et al*., 2013) demostraron que la deshidratación de tomates (15% de humedad) fue más rápida con aire a contracorriente (5h menos) que con flujo en paralelo, debido a que la transferencia de calor fue más eficiente al existir un contacto más estrecho debido al movimiento en sentidos opuestos.

2.6.1. Cinética de secado.

Al secar un producto con aire caliente, el aire aporta al producto tanto el calor sensible como el calor latente de evaporación, y también actúa como acarreador de la humedad que se está evaporando (Colina, 2010). Durante el proceso de secado, se distinguen dos períodos de secado (Figura 1).



Fuente: Adaptado de Barbosa-Cánovas (1999).

Figura 1. Curva de velocidad de secado (BC: Periodo de velocidad constante y CE: Periodo de velocidad decreciente.

2.6.1.1. Período de velocidad constante de secado.

Se caracteriza por la evaporación de la humedad a partir de una superficie saturada: Incluye la difusión de vapor de agua desde una superficie saturada del material a través de una película delgada del aire (Laguna, 2015).

En este período se evapora el agua libre, que se elimina fácilmente, en tanto que la superficie del producto se mantiene saturada de agua, debido a que el movimiento del agua desde el interior del producto hasta la superficie ocurre a la misma velocidad que la de evaporación de la superficie. La deshidratación tiene lugar por el movimiento del vapor de agua, desde la superficie saturada del producto hacia la corriente del aire de secado (Colina, 2010).

Durante este período la velocidad de transferencia de materia se equilibra con la velocidad de transferencia de calor de forma que la temperatura de la superficie del producto se mantiene constante y corresponde a la temperatura de bulbo húmedo del aire de secado (Colina, 2010).

2.6.1.2. Período de velocidad decreciente de secado.

Conforme avanza la deshidratación se alcanza un punto en el que la velocidad de movimiento de la humedad desde el interior del producto hasta la superficie se reduce en grado tal, que la superficie del producto comienza a resecarse. Como lo que se elimina en esta etapa es agua débilmente ligada, el proceso es cada vez más lento y su velocidad depende del mecanismo del movimiento de la humedad dentro del sólido (capilaridad o difusión) (Ibarz, *et al*.,2005).

En el período de velocidad decreciente, la velocidad de transferencia de calor es mayor que la de masa, por lo que la temperatura en la superficie del producto se incrementa paulatinamente hasta acercarse a la temperatura de bulbo seco del aire de secado (Colina, 2010).

2.6.2. Factores que influyen en la velocidad de secado.

2.6.2.1. Condiciones de proceso.

2.6.2.1.1. Velocidad de secado.

La velocidad a la que el aire utilizado para la deshidratación fluye sobre, o a través del producto, afecta la velocidad de evaporación del agua de la superficie del producto hacia el aire. Un aumento en la velocidad del aire trae como consecuencia un incremento en la transferencia de materia por convección y por consiguiente aumenta la velocidad de deshidratación (Ibarz *et al*., 2005) y (Colina, 2010).

Es necesario tener cuidado con velocidades máximas del secado para evitar que resulte encogimiento, endurecimiento superficial, agrietamiento de la superficie u otros defectos indeseables en el secado (Laguna, 2015).

2.6.2.1.2. Temperatura.

La velocidad de deshidratación varía en relación directa con la temperatura del aire utilizado para la deshidratación. Las altas temperaturas incrementan la velocidad de transferencia de calor, lo cual trae como consecuencia mayor velocidad de evaporación. Además, con el aumento de temperatura la humedad relativa del aire disminuye, lo cual aumenta el

gradiente de humedad entre el aire y la superficie del producto (Ibarz, *et al*., 2005).

El máximo de temperatura del aire de entrada está limitado por las propiedades del producto, su sensibilidad al calor y el tiempo de exposición a éste. Para cada producto debe encontrarse la temperatura de secado que permita la mayor velocidad de deshidratación y, al mismo tiempo garantice la calidad del producto (Laguna, 2015).

2.6.2.1.3. Humedad relativa del aire.

El gradiente de humedad entre el aire de deshidratación y la superficie del producto es la fuerza impulsora para la transferencia externa de materia (remoción de agua del producto). Cuanto menor sea la humedad relativa del aire mayor será dicho gradiente, luego mayor será la velocidad de deshidratación. La humedad relativa del aire determina la humedad de equilibrio del producto, lo que incide en el término del proceso de secado (Colina, 2010).

2.6.2.2. Características del producto.

2.6.2.2.1. Composición del producto.

El tipo y la concentración de los componentes químicos, presentes en el producto, determinan no sólo su contenido inicial de humedad, sino la forma en la que el agua interactúa con ellos (agua débilmente ligada o ligada) que influye en la movilidad de las moléculas de agua durante la deshidratación.

2.6.2.2.2. **Estructura celular**.

En la mayoría de los productos una porción del agua está contenida dentro de las células (agua intracelular) la cual es difícil de remover y el resto de agua se encuentra fuera de ella (agua intercelular) que constituye el agua libre, el cual se remueve fácilmente (Colina, 2010).

2.6.2.2.3. **Forma y tamaño del producto.**

La distancia que las moléculas de agua deben recorrer desde el interior del producto hasta la superficie del mismo, donde son removidas, determina la velocidad de deshidratación, sobre todo en el período de velocidad decreciente, donde la transferencia de interna del agua es el factor limitante para remover humedad. Cuando a los productos se reducen de tamaño aumenta su área superficial y esto facilita la deshidratación (Colina, 2010).

2.6.2.2.4. **Cambios durante la deshidratación.**

El proceso de deshidratación no sólo afecta el contenido de agua del producto, sino que también sus características físicas y químicas. Durante la deshidratación puede haber pérdidas de algunos nutrientes y deterioro de la calidad sensorial del alimento. Las altas temperaturas promueven el desarrollo de reacciones físicas y químicas indeseables, que se reflejan en el deterioro de la calidad del producto (Colina, 2010).

El método de secado, el régimen tiempo-temperatura de secado y las propiedades físicas del producto influyen en la magnitud de pérdida de ácido ascórbico durante el deshidratado. Cuando la deshidratación del tomate se efectúa a baja temperatura y por tiempos cortos,

la degradación de Ácido Ascórbico tiende a ser mínima, Pokorny y Schmidt, 2001 citado por (Ochoa-Reyes, y otros, 2013). En general, la pérdida de Ácido Ascórbico en tomates a consecuencia de la deshidratación suele ser de entre el 60% y 80% cuando se emplean temperaturas de entre 80 ºC y 110 °C, Chang, *et al.,* 2006 citado por (Ochoa-Reyes*, et al.,* 2013).

En el proceso de deshidratación del ají tabasco con diferentes temperaturas y velocidades de flujos de aire, temperaturas superiores a 55 °C presentan cambios desfavorables en el color de la muestra. La velocidad de flujo del proceso es inversamente proporcional al tiempo de secado; por tanto, a una menor velocidad de flujo de aire la pérdida de humedad del producto tiende a ser constante. Luego, para deshidratar el ají tabasco, empleando un flujo de aire caliente en un secador de bandejas, la temperatura y velocidad del aire más adecuada es 50 °C y 0,852 L/s, con lo cual se obtuvo un producto con buenas características organolépticas (Rocha, *et al*., 2016).

A mayor temperatura de secado por convección con aire caliente el contenido de ácido ascórbico en la guayaba manzana tiende a degradarse, porque la compactación celular se debilita y se rompen los tejidos. Así a 40 ºC, 50 ºC y 60 °C, los porcentajes de pérdida de ácido ascórbico son de 64.02%, 64.64% y 74.98%, siendo a 60 °C el más alto. Para conservar las características nutricionales se debe deshidratar a temperaturas bajas, pero los tiempos de secado aumentan (Hincapié, *et al.,* 2011).

Durante la deshidratación de zanahorias, los carotenos totales y el ácido ascórbico presentaron una mayor degradación al utilizar mayores temperaturas de deshidratación. El polvo de zanahoria

obtenido por deshidratación a 50 °C presentó menor decoloración y mejores características nutricionales por su mayor contenido de carotenos totales y de ácido ascórbico (Hernádez, *et al*., 2015).

III. MATERIALES Y MÉTODOS.

3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN.

La presente investigación se realizó en el Laboratorio de Ingeniería de Alimentos de la Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias – Universidad Nacional Agraria de la Selva. La determinación de ácido ascórbico en la harina obtenida a partir de la cáscara de camu camu se realizó en el Centro de Investigación para el Desarrollo Biotecnológico de la Amazonía (CIDBAM) en la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

3.2. MATERIALES.

3.2.1. Materia prima.

Se utilizó la cáscara de los frutos maduros de camu camu. La cáscara se recolectó del proceso industrial que realizan los socios de la Asociación de Productores de camu camu el camucamal – Ucayali, en las instalaciones de la Planta Piloto del IIAP, cuya dirección es: Carretera Federico Basadre Km.12.400, provincia de Coronel Portillo, región Ucayali.

3.2.2. Reactivos.

Los reactivos empleados fueron: Ácido oxálico, 2,6 Diclorofenolindofenol, agua desionizada.

3.2.3. Materiales.

Los materiales que se utilizaron fueron: Bosas ziploc, cajas de tecnopor, hielo seco, vasos de precipitado de 25, 50 y 100 mL, micropipetas de 10 y 100 µL, fiolas de 100 y 250 mL, microfiltro, matraces erlenmeyers de 100 y 250 mL, probetas 50 y 100 mL, placas petri 10 cm. x 1,5 cm, crisoles de

porcelana, papel filtro, piseta, frascos de vidrio 100 mL y 250 mL color ámbar, recipientes de plástico de 20 L, mandil blanco, mascarilla, guantes, papel toalla.

3.2.4. Instrumentos.

Los instrumentos que se utilizaron fueron: pH metro digital, cronómetro.

3.2.5. Equipos.

Los equipos que se emplearon fueron: Pulpeadora, balanza gramera (0,01 g - 5000 g) marca OHAUS modelo Traveler TA3001, balanza analítica (marca OHAUS, precisión 0,001g), molino de tornillo, estufa eléctrica marca Fisher Isotemp Oven modelo 318G, horno mufla marca Herae, estufa con circulación de aire, secador de bandejas modelo Armfield con regulador de temperatura y velocidad de aire, juego de tamices, espectrofotómetro UV-Vis Genesys 10s.

3.3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.

3.3.1. Obtención de la harina de cáscara de camu camu.

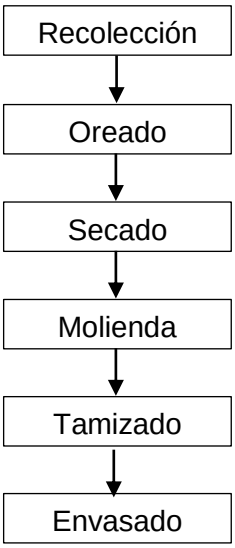
Para la obtención de harina a partir de la cáscara de camu camu se siguió el diagrama de bloques que se muestra en la Figura 2.

3.3.1.1. Recolección.

La cáscara se recolectó del proceso agroindustrial que realizan los socios de la Asociación de Productores de camu camu el Camucamal – Ucayali, en las instalaciones de la Planta Piloto del IIAP.

3.3.1.2. Oreado.

Se oreó la cáscara durante cuatro horas con la finalidad de eliminar el exceso de agua. Luego se transportó en cajas de tecnopor con hielo seco hasta los laboratorios de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, en la ciudad de Tingo María.



Fuente: Elaboración propia, 2017.

Figura 2. Diagrama de flujo para la obtención de harina a partir de la cáscara de camu camu.

3.3.1.3. Secado.

Se secó la cáscara de camu camu en un secador de bandejas a las temperaturas (50 °C, 60 °C) y velocidades de aire (2.0 m/s, 2.5 m/s), durante 390 min (6.50 h).

3.3.1.4. Molienda.

Luego del secado se procedió a reducir de tamaño en un molino de tornillo, obteniéndose la harina de cáscara de camu camu.

3.3.1.5. Tamizado.

La harina obtenida se tamizó con la finalidad de uniformizar

el tamaño de las partículas.

3.3.1.6. Envasado.

La harina con la finura adecuada se envasó en bolsa de papel y en bolsas ziploc, con capacidad de 250 g listo para su análisis.

3.4. MÉTODOS ANALÍTICOS.

3.4.1. Caracterización fisicoquímica de la muestra.

Para el análisis químico proximal de la harina del desecho agroindustrial (cáscara) se realizaron los siguientes procedimientos, utilizando los métodos descritos por la (AOAC, 2000).

3.4.1.1. Determinación de humedad.

El método consistió en evaporar, mediante secado, el agua contenida en la muestra, bajo condiciones normalizadas. Se buscó determinar el contenido de agua disponible, presente en la materia prima por el método del secado en estufa. Para ello, se pesó la muestra en una placa Petri limpia y seca, previamente tarada (10 g de muestra), luego se colocó en la estufa por 2,5 horas a 105 °C ± 2 °C. Seguidamente se enfrió en el desecador por 30 minutos y se pesó. La humedad se calculó mediante la expresión:

$$\%\text{Humedad} = \frac{(P_1 - P_2)}{m} * 100$$

Dónde:

P_1 = Peso del recipiente más la muestra húmeda, en g.

P_2 = Peso del recipiente más la muestra seca, en g.

m = Peso de la muestra, en g.

3.4.1.2. Determinación de pH.

En primer lugar se procedió a calibrar el equipo con los buffers de pH 4,0 y 7,0. Luego se colocó 10 g de harina de cáscara de camu camu en un vaso de precipitado de 500 mL, seguidamente de agregó 100 mL de agua destilada, se agitó con una bagueta de vidrio y se colocó el vaso en baño maría a 40 °C durante una hora. Luego se filtró y se separó 50 mL, se dejó enfriar (20 °C). Seguidamente se introdujo el electrodo del potenciómetro en la muestra y se anotó el valor del pH obtenido.

3.4.1.3. Determinación de ceniza.

El método se basó en obtener el residuo inorgánico mediante la calcinación a temperatura entre 550 – 600 °C de una determinada muestra. Para ello se pesó el crisol, previamente secado en la mufla y enfriado en el desecador, seguidamente se pesó en el crisol 2 gramos de muestra y se calcinó al rojo oscuro (550 °C) manteniendo la temperatura durante dos horas, obteniendo un residuo con cenizas blancas o blanco grisáceo. Se retiró el crisol de la mufla y se colocó en el desecador para enfriarlo. Luego se pesó el residuo y el contenido de cenizas se calculó mediante la expresión.

$$\%\text{Cenizas} = \frac{(P_2 - P_1)}{m} * 100$$

Dónde:

P_1 = Peso del crisol vacío en g.

P_2 = Peso del crisol más cenizas, en g.

m = Peso de la muestra, en g.

3.4.1.4. Determinación de ácido ascórbico.

Se utilizó el método espectrofotométrico. Se realizó por el método reportado por Hung y Yen (2002). Se hizo reaccionar 100 µL de extracto acuoso, con 900 µL de 2,6 diclorofenolindofenol, registrándose la absorbancia a 515 nm, la cantidad de ácido ascórbico se calculará de la expresión:

$$A_{515\ nm} = A_{control} - A_{muestra}$$

Donde la Absorbancia control se obtendrá de la reacción de 100 µL de ácido oxálico al 0,4%, con 900 µL de 2,6 diclorofenolindofenol.

Preparación de los reactivos:

Colorante: Se disolvió con agua destilada hirviente 12 mg de 2,6 diclorofenolindofenol, y se enrasó a 1000 mL, se almacenó en botellas de color oscuro y se puso en refrigeración.

Solución de ácido oxálico al 0.4%: Se pesó 4 g de ácido oxálico y se llevó a volumen de 1000 mL con agua destilada.

Solución madre de ácido ascórbico: Se diluyó 100 mg de ácido ascórbico a 100 mL, con solución de ácido oxálico al 0,4%.

Estándares de trabajo (ET): Se tomó 1, 2, 3, 4 y 5 mL de solución madre de ácido ascórbico y se llevó a volumen de 100 mL con una solución de ácido oxálico al 0,4%. Estas soluciones enumeradas del 1 al 5 contuvieron 1, 2, 3, 4 y 5 mg de ácido ascórbico por 100 mL respectivamente. Luego se prepararon las soluciones para construir la curva estándar y se realizaron las lecturas a 520 nm.

Preparación de la muestra: Se mezcló con agitación 10 g. de muestra fresca seca con 350 mL de una solución de ácido oxálico al 0.4%

por 3 min y luego se filtró. Seguidamente se tomó una alícuota del filtrado y se diluyó y se midió la absorbancia.

3.5. DISEÑO ESTADÍSTICO DE LA INVESTIGACIÓN.

3.5.1. Diseño experimental.

El diseño experimental utilizado para evaluar el efecto de la Temperatura de secado y velocidad de aire en el contenido de ácido ascórbico de la haría de cáscara del fruto de camu camu se detallan a continuación:

Se aplicó el diseño completo al azar (DCA), con arreglo factorial 2x2 con tres repeticiones bloque. El modelo lineal aditivo para el diseño es:

$$\mathbf{Y_{ijk} = \mu + T_i + V_j + (TxV)_{ij} + Ei_{jk}}$$

Dónde:

Y_{ijk} : Observaciones (contenido de ácido ascórbico).

μ : Media general.

T_i : Efecto de la temperatura de secado.

V_j : Efecto de la velocidad de aire de secado.

$(TxV)_{ij}$: Efecto de la interacción temperatura –velocidad.

E_{ijk} : Error experimental.

Se aplicó un nivel de confiabilidad del 95%. Prueba estadística de Tukey. Por tanto se tuvo 2x2 = 4 tratamientos con tres repeticiones. Siendo los tratamientos:

Tratamiento 1 ($\mathbf{T^1}$): 50 °C – 2.0 m/s

Tratamiento 2 ($\mathbf{T^2}$): 50 °C – 2.5 m/s

Tratamiento 3 ($\mathbf{T^3}$): 60 °C – 2.0 m/s

Tratamiento 4 ($\mathbf{T^4}$): 60 °C – 2.5 m/s

3.5.2. Análisis estadístico.

Los resultados se analizaron estadísticamente mediante el software estadístico Statgraphics Centurión XV para Windows. Se aplicó el análisis de varianza (ANVA) y la prueba de comparación múltiple de Tukey para el contenido de ácido ascórbico y así determinar las posibles diferencias significativas entre los tratamientos. Las diferencias se consideraron estadísticamente significativas al nivel de $p<0,05$.

3.5.3. Tipo y nivel de investigación.

3.5.3.1. Tipo de investigación.

La investigación fue de tipo aplicada, debido a que se hizo uso de los conocimientos teóricos ya demostrados, con la finalidad de evaluar el efecto de ciertos parámetros (temperatura y velocidad de secado) en el contenido de ácido ascórbico, para generar nuevas propuestas de aprovechamiento agroindustriales.

3.5.3.2. Nivel de investigación.

Por la manipulación que se realizó a las variables temperatura de secado y velocidad de aire se trata de una investigación experimental, buscando establecer la relación causa efecto. Además, fue de encausamiento cuantitativo, porque las variables estudiadas se midieron numéricamente.

3.5.4. Población y muestra.

Se consideró como población la generación de residuo (cáscara) de proceso agroindustrial que realizaron los socios de la Asociación de Productores de camu camu el Camucamal – Ucayali, en las instalaciones de la Planta Piloto del IIAP. La muestra correspondió a 15 kg de cáscara del fruto de camu camu.

3.6. MEDICIÓN DE LAS VARIABLES INDEPENDIENTES Y DEPENDIENTES.

3.6.1. Variables independientes.

Temperatura de secado.

Indicadores: 50 °C y 60 °C.

Velocidad de aire.

Indicadores: 2,00 m/s y 2,50 m/s.

3.6.2. Variables dependientes.

Contenido de Ácido Ascórbico ($mg.g^{-1}$)

3.7. DESCRIPCIÓN DE TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.

Se utilizó la técnica de la observación por parte de investigador (evaluación instrumental que se realizó mediante los equipos e instrumentos) y el análisis documental; además, se recopiló datos de fuentes secundarias como libros, informes y otros documentos que fueron importantes como fuente de datos de la investigación.

Los instrumentos para la recolección de datos, fueron: guía técnica documental, balanza de precisión, pH-metro, estufa, espectrofotómetro.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1. OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LA CÁSCARA DE CAMU CAMU.

En el cuadro 2, se muestran las características fisicoquímicas de la cáscara fresca del fruto de camu camu, que fueron obtenidos del proceso de transformación agroindustrial de pulpa de camu camu.

Cuadro 2. Características fisicoquímicas de la cáscara de camu camu fresca.

Característica	Cantidad [1]
pH	2.39 ± 0,15
Humedad (%)	86.25 ± 2.67
Cenizas (g/100 g) [2]	0.09 ± 0,01
Ácido ascórbico (mg/100 g)	1270.33 ± 149.51
Ácido ascórbico (mg/100 g) [2]	9237.76 ± 1348.24

[1] Los valores representan la media ± SD, para n = 3.

[2] Expresado en base seca.

El contenido de humedad de la cáscara fresca fue de: 86.25 ± 2.67%, este valor difiere poco de lo reportado por (García, *et al*., 2015), que fue de: 88.20%. El alto contenido de agua, es causante de la pérdida de ácido ascórbico, por lo que durante el proceso de secado el agua debe eliminarse rápidamente.

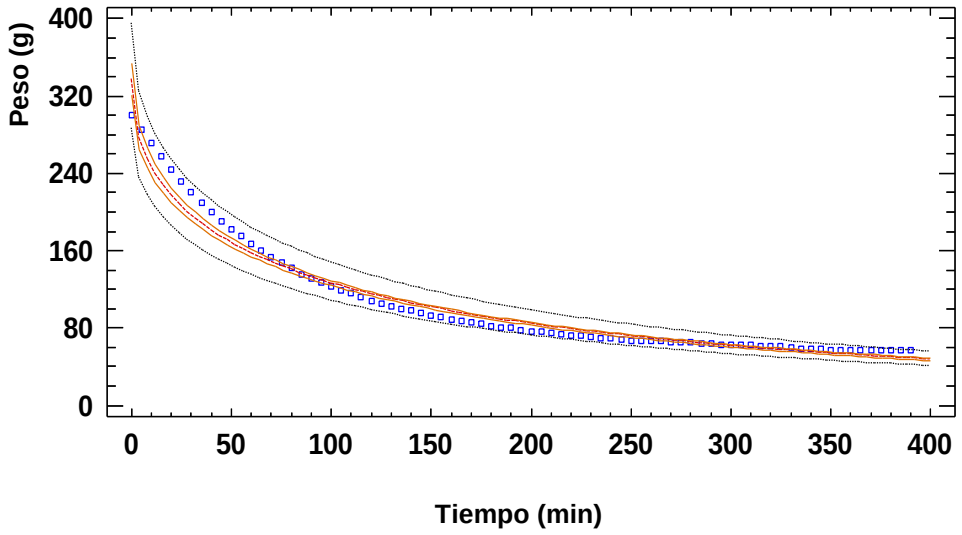
En estudios realizados por (Villanueva, 2010), encontraron que el contenido de ácido ascórbico en estado fresco fue de 21,95 ± 1,18 mg/g, lo que equivale a 2195 mg/100 g de ácido ascórbico, este valor es mucho mayor a lo encontrado en la presente investigación (1270.33 ± 149.51 mg/100 g). Por otro lado, otros estudios demostraron que la cáscara fresca contiene: 21,72 ± 0,50 $mg.g^{-1}$ de ácido ascórbico (García *et al*., 2015). La variación en el contenido de ácido ascórbico, se debe a las condiciones agroecológicas del cultivo que podrían estar influyendo en el contenido de ácido ascórbico; además, el

contenido de ácido ascórbico varía según la variedad, lo que todavía en nuestra región no está identificado plenamente.

4.2. SECADO DE LA CÁSCARA DE CAMU CAMU.

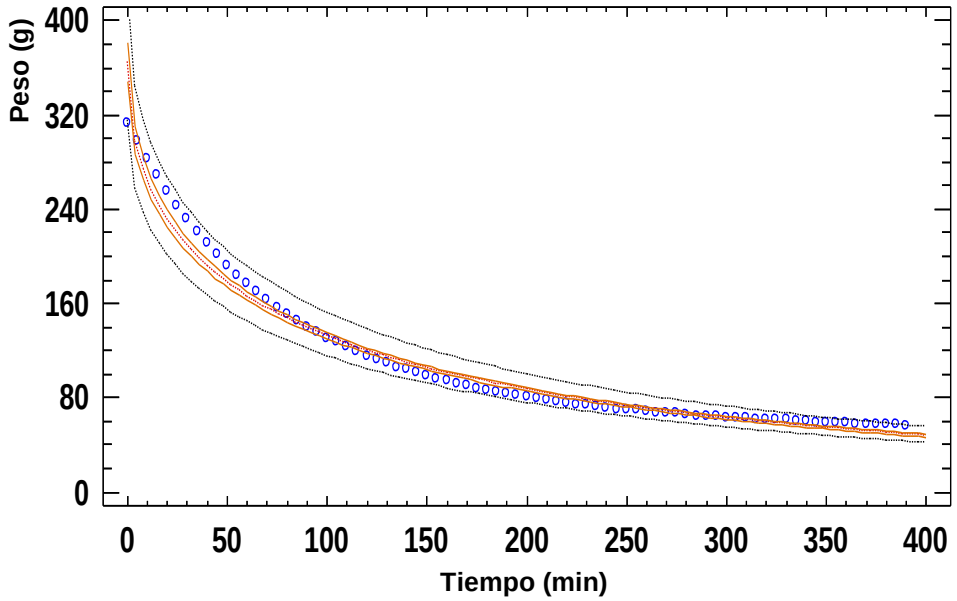
4.2.1. Cinética de secado de la cáscara de camu camu.

Con los datos de la variación de peso que se muestra en la Tabla 13 del Anexo 7, se procedió a graficar la variación de peso a través del tiempo de secado. En las Figuras 3, 4, 5 y 6, se muestran los ajustes y la ecuación del modelo que explica el fenómeno físico del secado de la cáscara de camu camu para las temperaturas y velocidades de aire considerados en el estudio.



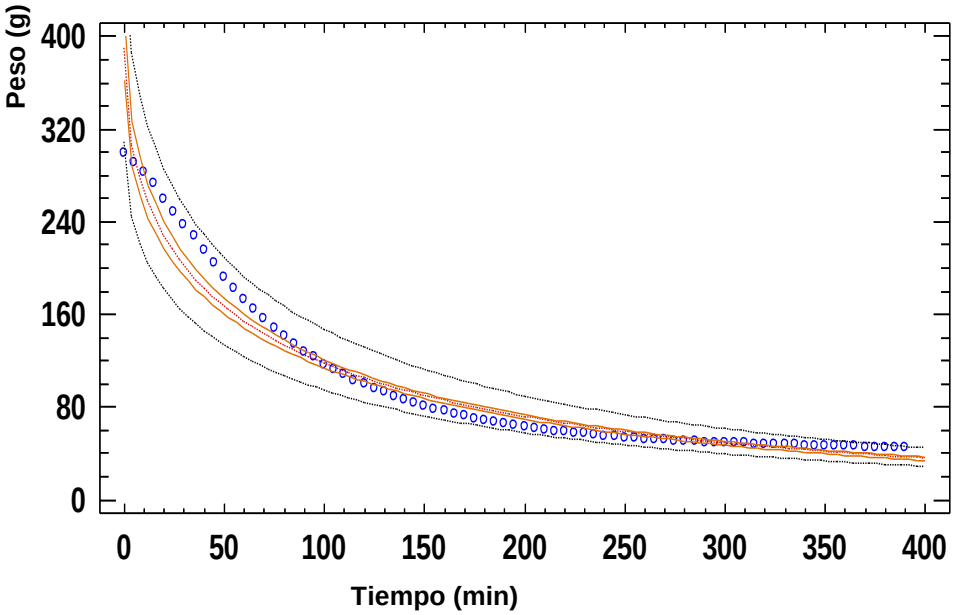
Ecuación del modelo ajustado: **Ln (Peso) = 5.8198 - 0.0979912.(Tiempo)$^{1/2}$**

Figura 3. Variación del peso en función del tiempo, para el secado de la cáscara de camu camu a 50 °C y 2.0 m/s.



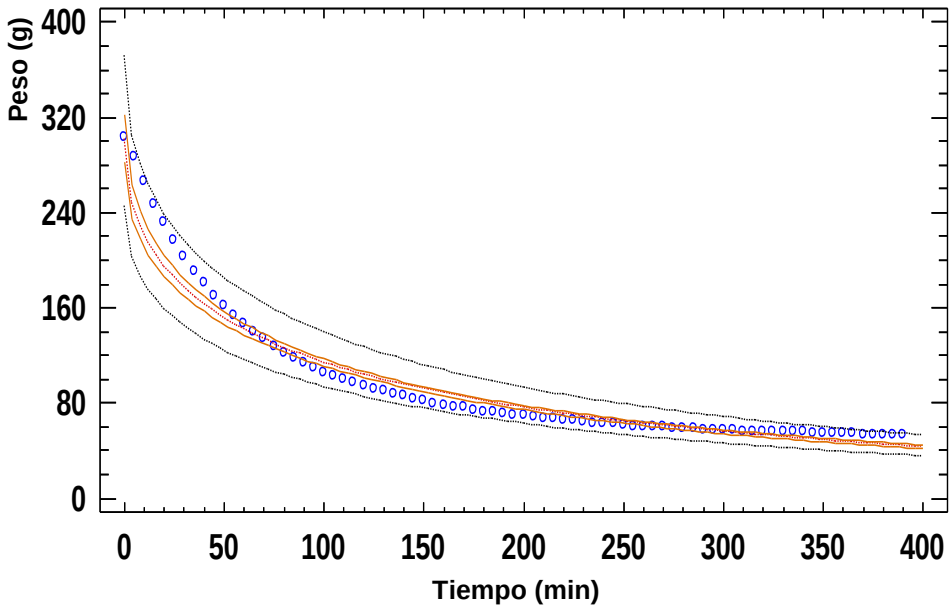
Ecuación del modelo ajustado: **Ln (Peso) = 5.89962 - 0.101469.(Tiempo)$^{1/2}$**

Figura 4. Variación del peso en función del tiempo, para el secado de la cáscara de camu camu a 50 °C y 2.5 m/s.



Ecuación del modelo ajustado: **Ln (Peso) = 5.96479 - 0.119909. (Tiempo)$^{1/2}$**

Figura 5. Variación del peso en función del tiempo, para el secado de la cáscara de camu camu a 60 °C y 2.0 m/s.



Ecuación del modelo ajustado: **Ln (Peso) = 5.70913 – 0.097326.(Tiempo)$^{1/2}$**

Figura 6. Variación del peso en función del tiempo, para el secado de la cáscara de camu camu a 60 °C y 2.5 m/s.

Para los modelos ajustados se ha encontrado que todos siguen el mismo comportamiento, encontrándose el coeficiente de correlación entre -0.99 y - 0.97, lo que demuestra una fuerte relación entre las variables (peso y tiempo de secado), esta relación es inversamente proporcional (por el signo negativo). Además, los valores de R^2 varían entre 95% y 98%, lo que demuestra que el modelo hallado para cada caso explica en un 95% y 98% el comportamiento de los datos.

4.3. CARACTERIZACIÓN DE LA HARINA DE CÁSCARA DE CAMU CAMU.

En el Cuadro 3, se muestran las características fisicoquímicas de la harina obtenida a partir de la cáscara del fruto de camu camu, que fueron secados a diferente temperatura y velocidad de aire.

Cuadro 3. Características fisicoquímicas de la harina de cáscara de camu camu por tratamiento.

Característica	Cantidad [1]			
	T1 (50°C – 2.0 m/s)	T2 (50°C – 2.5 m/s)	T3 (60°C – 2.0 m/s)	T4 (60°C – 2.5 m/s)
pH	2.42 ± 0,08	2.48 ± 0,08	2.64 ± 0,10	2.58 ± 0,10
Humedad (%)	20.43 ± 0.84	18.53 ± 0.53	13.40 ± 0.58	13.16 ± 0.50
Cenizas [2] (g/100 g)	0.0845 ± 0,0021	0.0912 ± 0,0020	0.00793 ± 0,022	0.0893 ± 0,023
Ácido ascórbico (mg/100 g)	5235.48 ± 174.47	6112.78 ± 217.09	7713.61 ± 306.53	7920.24 ± 320.12

[1] Los valores representan la media ± SD, para n = 3.

[2] Expresado en base seca.

En la presente investigación el menor contenido de ácido ascórbico (5235.48 ± 174.47 mg/100 g) corresponde a la harina obtenida cuando la cáscara es secada a la temperatura de 50 °C y 2.0 m/s de velocidad de aire, mientras que el mayor contenido de ácido ascórbico (7920.24 ± 320.12 mg/100 g) corresponde a la harina obtenida cuando la cáscara es secada a la temperatura de 60 °C y 2.5 m/s de velocidad de aire. Estos valores son mucho mayores a los valores reportados por (Villanueva, 2010), quienes encontraron que luego del secado, el contenido de ácido ascórbico en la cáscara del fruto maduro fue 16.41 ± 3.64 mg ácido. Ascórbico (equivalente 1641 mg/100 g).

La diferencia podría estar explicada por el método de secado aplicado a la cáscara. La harina obtenida en la presente investigación fue obtenida en un equipo de secado, donde se controla la temperatura y velocidad de secado, que son factores que determinan la velocidad de secado; mientras que los datos de la bibliografía se obtuvieron para la cáscara secada en estufa. Cuanto más lento es el proceso de secado la degradación del ácido ascórbico es mayor, debido a que el ácido ascórbico es deteriorado por la presencia de

agua, presente en el producto (Lee; Chen, 1998; Bradshaw; Prenzler; Scollary, 2001, citados por (Villanueva, 2010).

4.4. CONTENIDO DE ÁCIDO ASCÓRBICO DE LA HARINA DE CÁSCARA DE CAMU CAMU.

Con los datos del contenido de ácido ascórbico mostrados para cada tratamiento en el Cuadro 3, se elaboró la Figura 7.

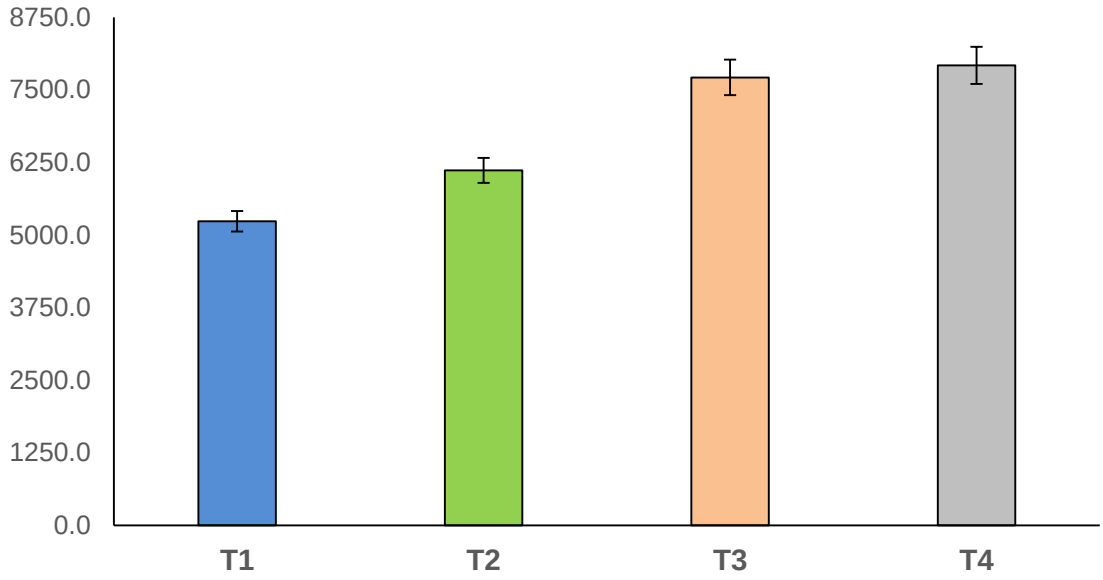


Figura 7. Contenido de ácido ascórbico en la harina obtenida a partir de la cáscara de camu camu, por tratamiento.

Se observa que cuando la temperatura de secado es menor, el contenido de ácido ascórbico es menor; mientras que el contenido de ácido ascórbico se incrementa cuando la temperatura de secado es mayor. El incremento en el contenido de ácido ascórbico se ve afectado más todavía con el incremento de la velocidad de aire. La velocidad a la que el aire utilizado para la deshidratación fluye sobre, o a través del producto, afecta la velocidad de evaporación del agua de la superficie del producto hacia el aire (Ibarz, *et al.,* 2005) y (Colina, 2010).

En el Cuadro 4 se muestra el análisis de varianza (ANVA) realizado al contenido de ácido ascórbico, según el modelo estadístico planteado, con la finalidad de conocer el efecto de los factores considerados en la investigación.

Cuadro 4. Análisis de Varianza para el contenido de ácido ascórbico.

Fuente	S.C.	gl	C.M.	Fc	Pv
Modelo [1]	1.49933E7	3	4.99776E6	72.96	0.0000
Temperatura	1.37748E7	1	1.37748E7	201.09	0.0000
Velocidad de aire	881167.0	1	881167.0	12.86	0.0071
Temperatura*Velocidad de aire	337349.0	1	337349.0	4.92	0.0573
Residuo	548016.0	8	68502.0		
Total	1.55413E7	11			

[1] R^2 = 96.47%

Estadístico Durbin-Watson = 2.34401 (P=0.3534)

Del ANVA realizado observamos que el factor temperatura ejerce un efecto altamente significativo (Pv < 0,01) en el contenido de ácido ascórbico, dicho de otro modo, el contenido de ácido ascórbico se ve afectado por la temperatura de secado.

Para el caso de la velocidad de aire de secado, también podemos afirmar que el contenido de ácido ascórbico es afectado de un modo altamente significativo (Pv < 0,01).

De sumo interés es el estudio del efecto de la interacción de los factores Temperatura – Velocidad de aire. En el ANVA realizado se observa que el Pv está muy cercano 0,05, lo que podría haber la posibilidad de un efecto de la interacción, la misma que es corroborado con la prueba de comparación múltiple de medias.

En los Cuadros 5 y 6, se muestran la comparación múltiple de medias de Tukey para los factores temperatura y velocidad de aire.

Cuadro 5. Comparación Múltiple de Tukey para el contenido de ácido ascórbico por Velocidad de aire.

Velocidad de aire	Cantidad	Promedio	S.D.	Grupos Homogéneos	
2.0 m/s	6	6474.55	106.85	a	
2.5 m/s	6	7016.51	106.85		b

Se observa que a la velocidad de aire de 2.5 m/s, el contenido de ácido ascórbico de la harina obtenida a partir de la cáscara de camu camu es mayor (7016.51 ± 106,85 mg/100 g); por tanto es más conveniente secar la cáscara empleando una velocidad de aire de 2.5 m/s.

Cuadro 6. Comparación Múltiple de Tukey para el contenido de ácido ascórbico por Temperatura.

Temperatura	Cantidad	Promedio	S.D.	Grupos Homogéneos	
50°C	6	5674.13	106.85	A	
60°C	6	7816.93	106.85		b

Observamos que a la temperatura de 60 °C, el contenido de ácido ascórbico de la harina obtenida a partir de la cáscara de camu camu es mayor (7816.51 ± 106,85 mg/100 g); por tanto es más conveniente secar la cáscara a la temperatura de 60 °C.

En las Figuras 8 y 9, se muestran el análisis del efecto de la interacción de las variables independientes: Temperatura – Velocidad de aire dentro de cada nivel, respectivamente.

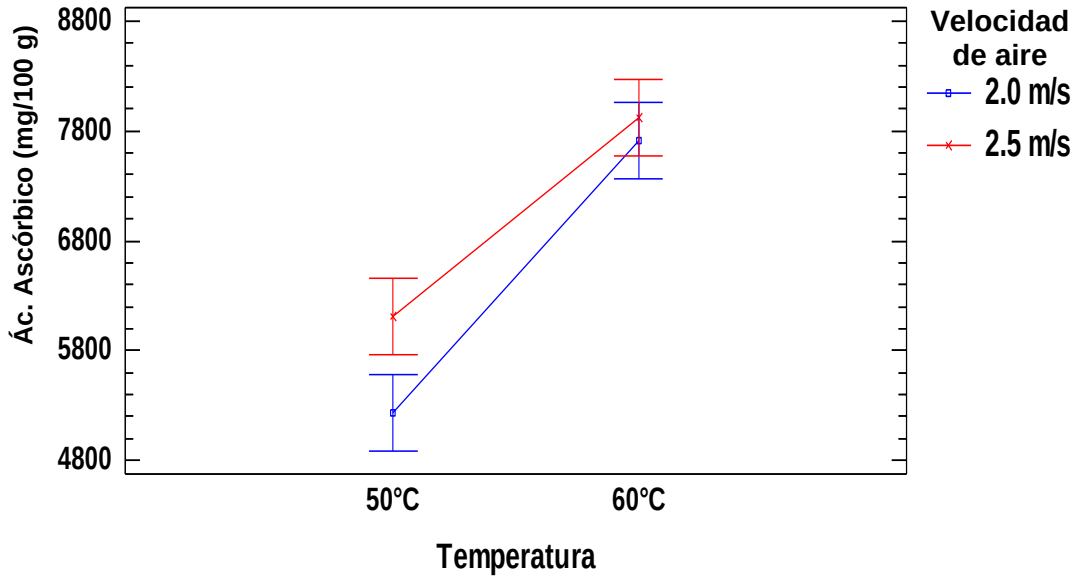


Figura 8. Efecto de la interacción Temperatura-Velocidad de aire, en el contenido de ácido ascórbico, para cada nivel de temperatura del aire.

Se observa que el contenido de ácido ascórbico varía según la velocidad del aire para cada nivel de temperatura de secado. Para la temperatura de secado de 50 °C, el mayor contenido de ácido ascórbico (6112.78) se obtiene cuando la temperatura de secado es de 2.5 m/s. Sin embargo, cuando la temperatura de secado es de 60 °C es mayor el contenido de ácido ascórbico, no existiendo diferencia significativa para ambas velocidades de aire.

La velocidad de aire permite la remoción de vapor de agua desde la superficie del producto hacia el seno del aire, a mayor velocidad de aire, más rápido será la remoción de agua. Un aumento en la velocidad del aire trae como consecuencia un incremento en la transferencia de materia por convección y por consiguiente aumenta la velocidad de deshidratación (Ibarz, *et al*., 2005) y (Colina, 2010). Luego al ser menor la velocidad de aire, más

lenta es la remoción de agua del producto (cáscara); por tanto, mayor tiempo de contacto agua –ácido ascórbico, esto explica por qué el menor contenido de ácido ascórbico. El ácido ascórbico es deteriorado por la presencia de agua, que es proporcionado por la fruta Lee y Chen, 1998 citado por (Villanueva, 2010).

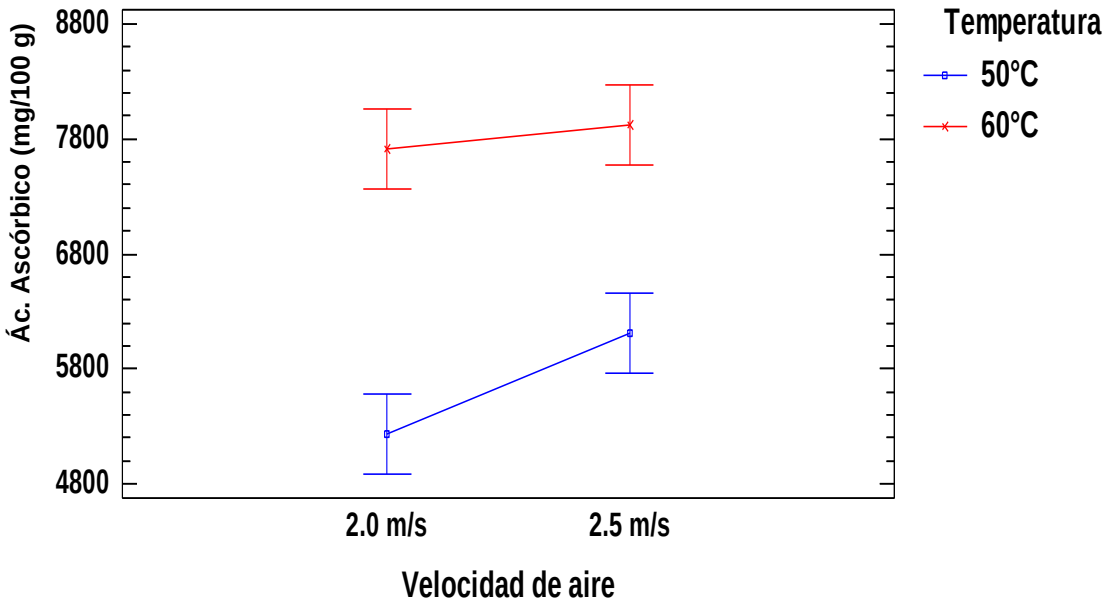


Figura 9. Efecto de la interacción Temperatura-Velocidad de aire, en el contenido de ácido ascórbico, para cada nivel de velocidad de aire.

Podemos observar que el contenido de ácido ascórbico es mayor cuando la temperatura de secado es de 60 °C (7713.61 - 7920.24), mientras que para la temperatura de 50 °C el contenido de ácido ascórbico son menores, este comportamiento se da para ambas velocidades de aire (2.0 m/s y 2.5 m/s).

Al elevar la temperatura de secado se incrementa la velocidad de transferencia de calor, lo cual trae como consecuencia mayor velocidad de evaporación (pérdida de agua). Además, con el aumento de temperatura la humedad relativa del aire disminuye, lo cual aumenta el gradiente de humedad entre el aire y la superficie del producto (Ibarz, et al., 2005). Luego al ser menor

la temperatura (50 °C) la evaporación es lenta, por tanto mayor tiempo de contacto entre el agua y el ácido ascórbico, lo que explicaría los valores menores de ácido ascórbico cuando la temperatura de secado es de 50 °C. El ácido ascórbico es deteriorado por la presencia de agua, que es proporcionado por la fruta Lee y Chen, 1998 citado por (Villanueva, 2010).

En el Cuadro 7, se muestra la comparación múltiple de medias de Tukey para los tratamientos (temperatura – velocidad de aire).

Cuadro 7. Comparación Múltiple de Tukey para el contenido de ácido ascórbico por Tratamiento.

Tratamientos	Casos	Media	Grupos Homogéneos		
T^1 (50°C - 2.0 m/s)	3	5235.48	a		
T^2 (50°C - 2.5 m/s)	3	6112.78		b	
T^3 (60°C - 2.0 m/s)	3	7713.61			c
T^4 (60°C - 2.5 m/s)	3	7920.24			c

Se observa que se ha formado tres grupos homogéneos. El primer grupo integrado únicamente por **T^1** (50 °C - 2.0 m/s) que presenta el menor contenido de ácido ascórbico: 5235.48 mg/100 g. El segundo grupo también está integrado únicamente por el tratamiento **T^2** (50 °C - 2.5 m/s) que presenta un contenido de ácido ascórbico de: 6112.78 mg/100 g. El tercer grupo está conformado por los tratamientos **T^3** (60 °C - 2.0 m/s) cuyo contenido de ácido ascórbico es de: 7713.61 mg/100 g y **T^4** (60 °C - 2.5 m/s) cuyo contenido de ácido ascórbico es de: 7920.24 mg/100 g, entre quienes no hay diferencia significativa. Al presentar los tratamientos **T^3 y T^4** los mayores valores en el contenido de vitamina C. indica que estas son las condiciones de secado a las cuales se debe secar la cáscara de camu camu.

V. CONCLUSIONES.

De la realización de este estudio se pueden destacar las conclusiones siguientes:

1. El contenido de ácido ascórbico en la cáscara fresca de camu camu es de: 1270.33 ± 149.51 mg/100 g.

2. Los tratamientos **T^3** (60 °C – 2.0 m/s) y **T4** (60 °C – 2.5 m/s) son los que mejor comportamiento tuvieron respecto a la retención del contenido de ácido ascórbico: 7713.61 ± 306.53 mg/100 g y 7920.24 ± 320.12 mg/100 g respectivamente.

3. El contenido de ácido ascórbico en la harina de cáscara de camu camu, está relacionado con la temperatura de exposición y la velocidad de aire, en el proceso de secado.

VI. RECOMENDACIONES.

Luego de haber realizado el análisis de los resultados contenidos en el presente trabajo de investigación, se recomienda lo siguiente:

1. Realizar trabajos de investigación sobre el comportamiento de los componentes bioactivos (polifenoles, antocianinas, flavonoides) durante el secado variando la temperatura y velocidad de aire, cuyos datos darían mayor luz a la forma del aprovechamiento agroindustrial de la cáscara de camu camu.

2. Realizar trabajos de optimización del contenido ácido ascórbico en la harina de cáscara de camu camu teniendo en cuenta los parámetros: temperatura, velocidad de aire y tiempo de secado, utilizando el secador de bandejas.

3. Formular nuevos productos a partir de la harina de cáscara de camu camu, permitiendo así incrementar la cadena de valor de este cultivo.

4. Comercialmente puede trabajarse con los tratamientos T^3 (60 °C – 2.0 m/s) y T^4 (60 °C – 2.5 m/s), ya que no ofrecen diferencia significativa.

5. Desarrollar otros trabajos similares con otros tipos de cáscara de frutos con contenido vitamínico.

VII. LITERATURA CONSULTADA.

Alva, *et al*., (2013). Optimización de humedad y textura en snacks de manzana, evaluando espesor y temperatura de secado. *Agroindustrial Science, 2*, 91-100.

AOAC. (2000). Oficial Methods of Analisis. (1. Edition, Ed.) *Publisher By AOAC-USA, 930.15*.

Bloch, A. y Thomson, C. (1995). Position of the American Dietetic Association: Phytochemicals and Functional Foods. *Journal of the American Dietetic Association, 95*, 493-496.

Bonafine, O. *et al*., (2006). Importancia de los fitoquímicos en la alimentación. *INIA Divulga, 7*, 9-12.

Boudhrioua, N. *et al*., (2003). Changes in aromatic components of banana during ripening and air-drying. *LWT - Food Science and Technology, 36*(6), 633-642. Obtenido de https://doi.org/10.1016/S0023-6438(03)00083-5

Carr, A. y Frei, B. (1999). Toward a new recommended dietary allowance for vitamin C based on antioxidant and health effects in humans. *Am. J. Clin. Nutr., 69*(6), 1086-1107.

Colina, I. (2010). *Deshidratación de alimentos.* México: Trillas.

Fennema, O. (2000). *Química de alimentos.* Zaragoza: Acribia.

García, E. *et al*., (2012). Variación de las características biométricas, físicas y químicas de la fruta del camu camu (Myrciaria dubia Mc Vaugh), en tres

estados de madurez: Verde, pintón y maduro, procedente de los cultivos de Yarinacocha y Pucallpillo. *Dirección General de Investigación. Universidad Nacional de Ucayali*.

García, P. *et al*., (2015). Elaboración de una bebida isotónica a partir del extracto del desecho agroindustrial (cáscara) del Camu camu (Myrciaria dubia Mc. Vaugh H.B.K.). *Dirección General de Investigación. Universidad Nacional de Ucayali*.

Hernádez, R. y Blanco, G. (2015). Evaluación de polvos de zanahoria obtenidos por deshidratación por aire forzado a diferentes temperaturas. *IDESIA (Chile)*, 75-80.

Hincapié, L., *et al*., (2011). Evaluación del secado por convección de la Guayaba (Psidium guajaba L.) variedad manzana. *Revista Investigaciones Aplicadas, 5*(2), 92-103.

Hincapié, L. *et al*., (2014). Propiedades técnico-funcionales de la fibra dietaria de cáscaras de Mango variedad Hilacha (Mangifera indica L.): Efecto del secado por convección. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, 12*(1), 153-160.

Hincapié, L., *et al*., (2010). Efecto de la temperatura de secado sobre las propiedades funcionales de la fibra dietaria presente en la citropulpa. *Revista Lasallista de Investigación, 7*(2), 85-93.

Hung, C. y Yen, G. (2002). Antioxidant Activity of Phenolic Compounds Isolated from Mesona Procumbens Hemsl. *Journal of Agricultural and Food*

Chemistry, 50(10), 2993-2997. Obtenido de https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11982431.

Ibarz, A., *et at*., (2005). *Operaciones Unitarias en la Ingeniería de Alimentos.* México: Mundi Prensa.

Iman, C. (2000). *Cultivo de Camu camu (Myrciaria dubia) H.B.K. en la región Loreto.* INIA, Estación Experimental San Roque, Iquitos.

Laguna, K. (2015). Deshidratación de alimentos. *Ingeniería Agroindustrial. Universidad Nacional Intercultural de la Amazonía*. Pucallpa.

Luna, O., *et al*., (2014). Evaluación psicométrica de un deshidratador de bandeja para alimentos". En un sistema de secado por aire caliente evaluaron el proceso de deshidratación de tres frutas: banano (Musa paradisica), piña (Ananas comosus,) tomate (Solanum lycopersicum). *Alimentos Hoy, 23*(33), 26-39.

Mahan, L. y Arlin, M. (1992). *Vitamins. Krause's Food, Nutrition and Diet Therapy. W. B. Saunders Co.*

Ochoa-Reyes, *et al*., (2013). Tecnologías de deshidratación para la preservación de tomate (Lycopersicon esculentum Mill.). *Biotecnia, XV*(2), 39-46.

PROAPA-GTZ. (2000). *Estudio de mercado para Myrciaria dubia H.B.K. Mc. Vaugh (camu camu).* Lima - Perú. Obtenido de www.promamazonia.org.pe/wfr_Descarga2.aspx?path...M...nombre.../69d/...

Procamusa. (2012). *Camu camu. Productos de camu camu*. Recuperado el 16 de setiembre de 2017, de http://www.promamazonia.org.pe/SiBiocomercio/wfr_LineaProductiva.aspx?Lip_IdLineaProductiva=6

PromAzonia. (s.f.). *Camu camu. Centro de Promoción de Biodiversidad Amazónica*. Recuperado el 28 de Agosto de 2017, de http://www.promamazonia.org.pe/SiBiocomercio/wfr_LineaProductiva.aspx?Lip_IdLineaProductiva=6.

Rocha, *et al*., (2016). Secado de ají tabasco (Capsicum frutensces) mediante deshidratación por convección forzada. *Prospect, 14*(1), 89-95. doi:http://dx.doi.org/10.15665/rp.v14i1.643.

Simon, J. y Hudes, E. (2000). Serum ascorbic acid and gallbladder disease prevalence among US. Adults: the Third National Health and Nutr. Examination Survey (NHANES III). *Arch. Intern. Med., 160*(7), 931-936.

Uurrea, *et al*., (2012). Modelos cinéticos de degradación de carotenoides, polifenoles y actividad antioxidante durante el secado convectivo de zanahoria (Daucus carota V. Nantesa)". *Alimentos Hoy, 21*(27), 68-101.

Vega, V. (2002). *Manual del valor agregado de camu camu. I Parte. PET/Desarrollo tecnológico y uso sostenible de los productos de la biodiversidad/Desarrollo de tecnologías de valor agregado para camu camu en Ucayali.* Pucallpa: IIAP.

Villanueva, E. (Mayo de 2010). Antocianinas, ácido ascórbico, polifenoles totales y actividad antioxidante, en la cáscara de Camu camu (*Myrciaria*

dubia H.B.K. McVaugh). *Ciencia y Tecnología de Alimentos, 30*(Supl. 1), 151-160.

VIII. ANEXO.

ANEXO 1.

Análisis de Regresión Simple para el Peso (g) en función del tiempo (min) correspondiente a T^1.

T^1: Temperatura de secado: 50 °C – Velocidad de aire: 2.0 m/s

Modelo propuesto: **$Ln\ Y = a + b.X^{1/2}$**

Coeficientes del modelo.

Parámetro	Mínimos Cuadrados Estimado	Error Estándar	Estadístico **t**	Pv
Intercepto	5.8198	0.0252268	230.699	0.0000
Pendiente	-0.0979912	0.00180653	-54.2429	0.0000

Análisis de Varianza del modelo.

Fuente	S.C.	gl	C.M.	Fc	Pv
Modelo	17.3813	1	17.3813	2942.29	0.0000
Residuo	0.454869	77	0.00590739		
Total	17.8361	78			

Coeficiente de Correlación = -0.987166 R^2 =97.4497%

La ecuación del modelo ajustado es: **$Ln\ (Peso) = 5.8198 - 0.0979912.(Tiempo)^{1/2}$**

Como el Pv en la tabla ANVA es menor que 0.05, existe una relación estadísticamente significativa entre el Peso (g) y el Tiempo (min) con un nivel de confianza del 95.0%. El estadístico R^2 indica que el modelo ajustado explica 97.4497% de la variabilidad en el Peso. El coeficiente de correlación es igual a -0.987166, indicando una relación relativamente fuerte entre las variables.

ANEXO 2.

Análisis de Regresión Simple para el Peso (g) en función del tiempo (min) correspondiente a T^2.

T^2: Temperatura de secado: 50 °C – Velocidad de aire: 2.5 m/s

Modelo propuesto: **$Ln\ Y = a + b.X^{1/2}$**

Coeficientes del modelo.

Parámetro	Mínimos Cuadrados Estimado	Error Estándar	Estadístico **t**	Pv
Intercepto	5.89962	0.022801	258.744	0.0000
Pendiente	-0.101469	0.00163282	-62.1437	0.0000

Análisis de Varianza del modelo.

Fuente	S.C.	gl	C.M.	Fc	Pv
Modelo	18.637	1	18.637	3861.84	0.0000
Residuo	0.371597	77	0.00482593		
Total	19.0086	78			

Coeficiente de Correlación = -0.990177 R^2 = 98.0451%

La ecuación del modelo ajustado es: **$Ln\ (Peso) = 5.89962 - 0.101469.(Tiempo)^{1/2}$**

Como que el Pv en la tabla ANVA es menor que 0.05, existe una relación estadísticamente significativa entre el Peso (g) y el Tiempo (min) con un nivel de confianza del 95.0%.

El estadístico R^2 indica que el modelo ajustado explica 98.0451% de la variabilidad en el Peso. El coeficiente de correlación es igual a -0.990177, indicando una relación relativamente fuerte entre las variables.

ANEXO 3.

Análisis de Regresión Simple para el Peso (g) en función del tiempo (min) correspondiente a T^3.

T^3: Temperatura de secado: 60 °C – Velocidad de aire: 2.0 m/s

Modelo propuesto: **$Ln\ Y = a + b.X^{1/2}$**

Coeficientes del modelo.

Parámetro	Mínimos Cuadrados Estimado	Error Estándar	Estadístico **t**	Pv
Intercepto	5.96479	0.0363696	164.005	0.0000
Pendiente	-0.119909	0.00260448	-46.0395	0.0000

Análisis de Varianza del modelo.

Fuente	S.C.	gl	C.M.	Fc	Pv
Modelo	26.0261	1	26.0261	2119.64	0.0000
Residuo	0.945451	77	0.0122786		
Total	26.9716	78			

Coeficiente de Correlación = -0.9823 R^2 = 96.4946%

La ecuación del modelo ajustado es: **$Ln\ (Peso) = 5.96479 - 0.119909.(Tiempo)^{1/2}$**

Como el Pv en la tabla ANVA es menor que 0.05, existe una relación estadísticamente significativa entre el Peso (g) y el Tiempo (min) con un nivel de confianza del 95.0%.

El estadístico R^2 indica que el modelo ajustado explica 96.4946% de la variabilidad en el Peso. El coeficiente de correlación es igual a -0.982317, indicando una relación relativamente fuerte entre las variables.

ANEXO 4.

Análisis de Regresión Simple para el Peso (g) en función del tiempo (min) correspondiente a T^4.

T^4: Temperatura de secado: 60 °C – Velocidad de aire: 2.5 m/s

Modelo propuesto: **$Ln\ Y = a + b.X^{1/2}$**

Coeficientes del modelo.

Parámetro	Mínimos Cuadrados Estimado	Error Estándar	Estadístico **t**	Pv
Intercepto	5.70913	0.0325271	175.519	0.0000
Pendiente	-0.097326	0.00232932	-41.7831	0.0000

La ecuación del modelo ajustado es: **$Ln\ (Peso) = 5.70913 – 0.097326.(Tiempo)^{1/2}$**

Como el Pv en la tabla ANVA es menor que 0.05, existe una relación estadísticamente significativa entre el Peso (g) y Tiempo (min) con un nivel de confianza del 95.0%.

Análisis de Varianza del modelo.

Fuente	S.C.	gl	C.M.	Fc	Pv
Modelo	17.1461	1	17.1461	1745.82	0.0000
Residuo	0.756232	77	0.00982119		
Total	17.9023	78			

Coeficiente de Correlación = -0.978651 R^2 = 95.7758%

El estadístico R^2 indica que el modelo ajustado explica 95.7758% de la variabilidad en el Peso. El coeficiente de correlación es igual a -0.978651, indicando una relación relativamente fuerte entre las variables.

ANEXO 5.

Gráficos complementarios del análisis estadístico realizado a los resultados.

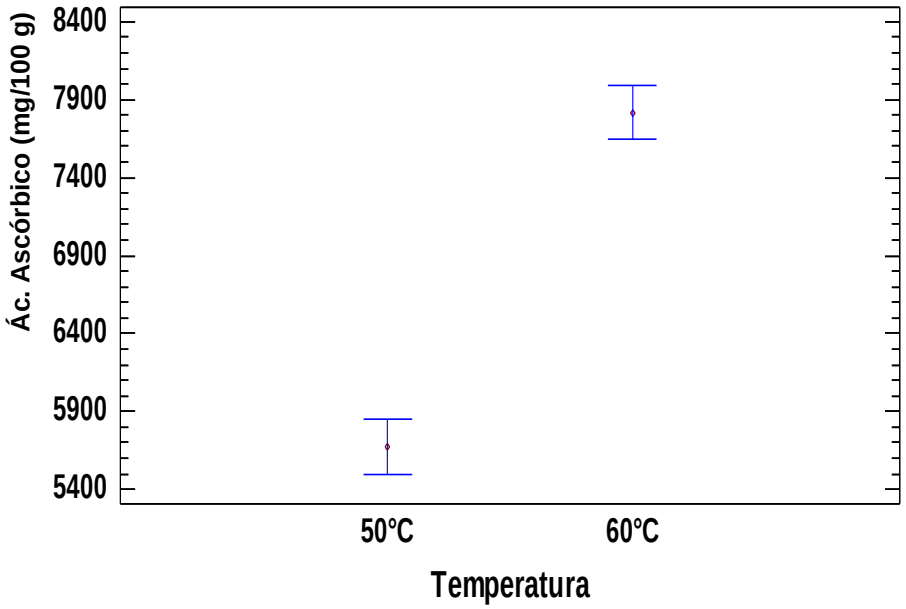


Figura 10. Contenido de ácido ascórbico por Temperatura.

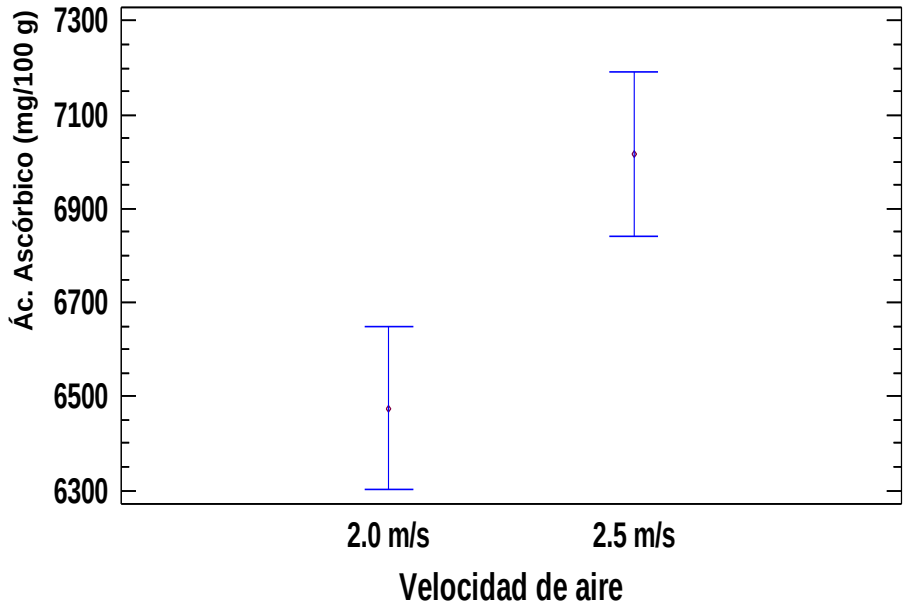


Figura 11. Contenido de ácido ascórbico por Velocidad de aire.

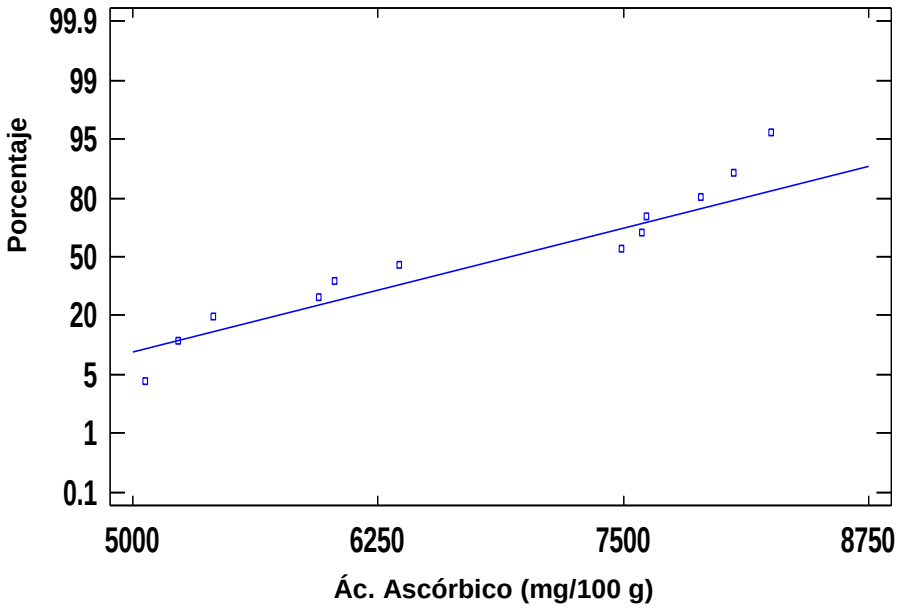


Figura 12. Probabilidad Normal.

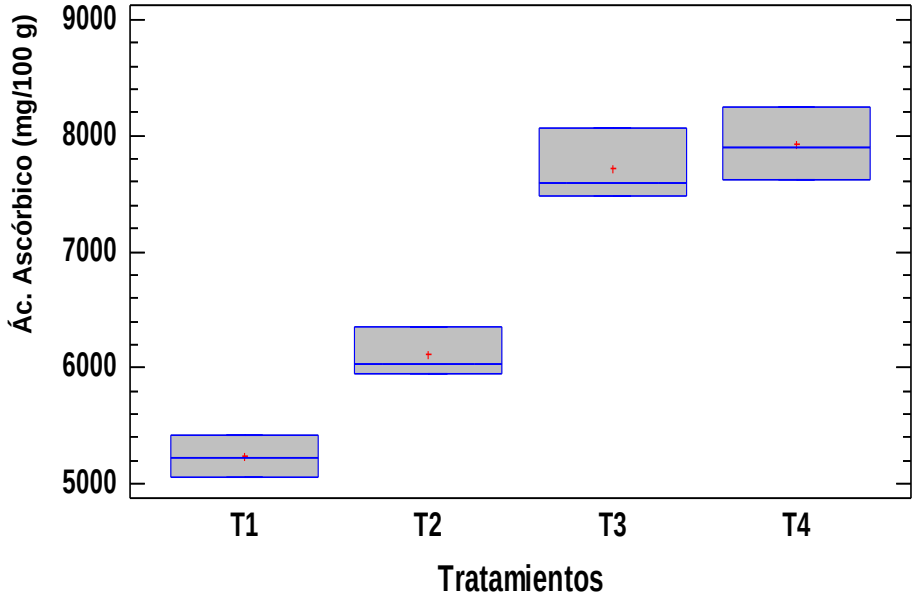


Figura 13. Caja y Bigotes.

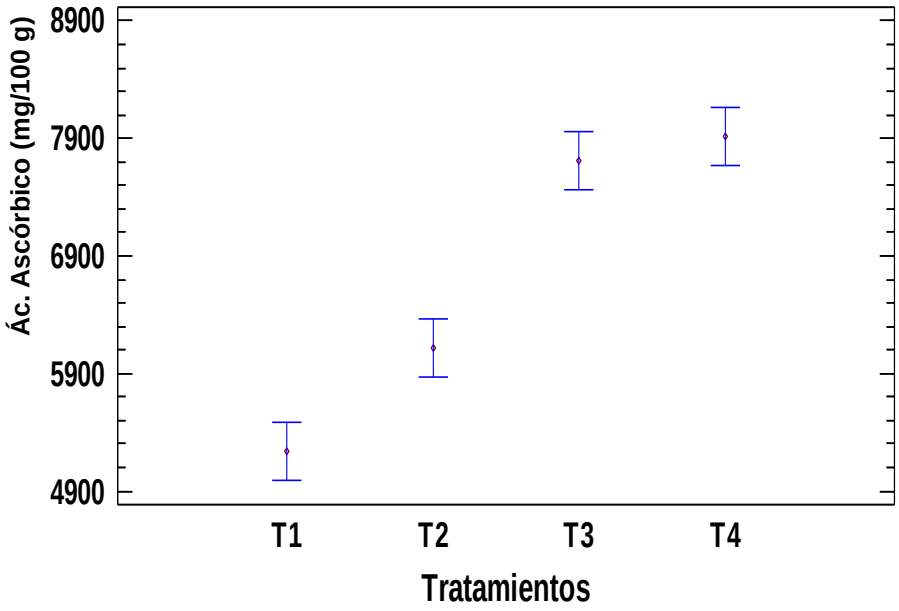


Figura 14. Medias de los Tratamientos.

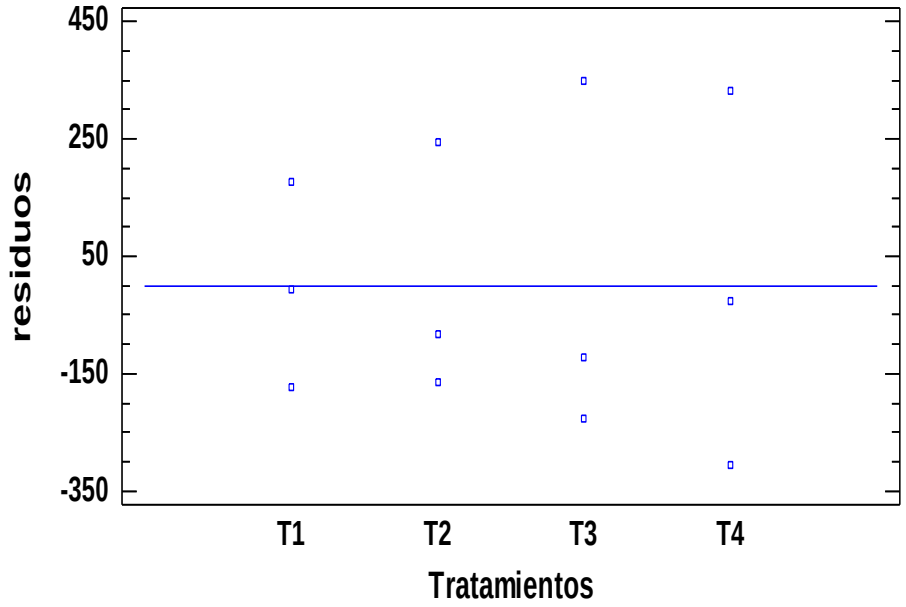


Figura 15. Residuos para ácido ascórbico.

ANEXO 6.

Datos complementarios del análisis estadístico realizado a los resultados.

Cuadro 8. Resumen estadístico para el contenido de ácido ascórbico.

Tratamientos	Recuento	Promedio	Varianza	S.D.	C.V.	S.E.
T1	3	5235.48	30439.6	174.47	3.33244%	100.73
T2	3	6112.78	47129.6	217.09	3.55147%	125.339
T3	3	7713.61	93961.9	306.53	3.97391%	176.976
T4	3	7920.24	102477.	320.12	4.0418%	184.821
Total	12	6745.53	1.41284E6	1188.63	17.621%	343.128

Cuadro 9. Análisis para ácido ascórbico por tratamientos.

Fuente	S.C.	gl	C.M.	Fc	Pv
Entre grupos	1.49933E7	3	4.99776E6	72.96	0.0000
Intra grupos	548016.0	8	68502.0		
Total	1.55413E7	11			

Cuadro 10. Prueba de Verificación de Varianza.

	Prueba	Pv
Levene's	0.181328	0.906113

Cuadro 11. Valores promedio para el contenido de ácido ascórbico por Tratamiento.

Tratamientos	Casos	Media	S.E.	Límite Inferior	Límite Superior
T1	3	5235.48	151.109	4989.08	5481.88
T2	3	6112.78	151.109	5866.38	6359.17
T3	3	7713.61	151.109	7467.22	7960.01
T4	3	7920.24	151.109	7673.84	8166.64
Total	12	6745.53			

Cuadro 12. Valores promedio para el contenido de ácido ascórbico para el arreglo factorial.

Nivel	Cantidad	Media	S.E.	L.I.	L.S.
MEDIA GENERAL	12	6745.53	75.5546	6571.3	6919.76
Temperatura					
50°C	6	5674.13	106.85	5427.73	5920.53
60°C	6	7816.93	106.85	7570.53	8063.32
Velocidad de aire					
2.0 m/s	6	6474.55	106.85	6228.15	6720.94
2.5 m/s	6	7016.51	106.85	6770.11	7262.91
Temperatura por Velocidad de aire					
50°C - 2.0 m/s	3	5235.48	151.109	4887.02	5583.94
50°C - 2.5 m/s	3	6112.78	151.109	5764.32	6461.24
60°C - 2.0 m/s	3	7713.61	151.109	7365.15	8062.07
60°C - 2.5 m/s	3	7920.24	151.109	7571.78	8268.7

ANEXO 7.

Cuadro 13. Variación del peso durante el secado de la cáscara de camu camu.

Peso promedio de tres repeticiones				
Tiempo (min)	**T1** 50 °C - 2.0 m/s**)**	**T2 (**50 °C - 2.5 m/s**)**	**T3 (**60 °C - 2.0 m/s**)**	**T4** (60 °C - 2.5 m/s)
0	300.1	312.3	299.1	302.5
5	285.6	296.9	290.4	286.3
10	271.6	282.1	282.6	266.3
15	257.2	268.3	273.4	246.4
20	244.2	255.4	258.4	231.0
25	231.9	243.1	247.7	216.3
30	220.4	231.8	237.7	202.5
35	210.1	220.8	227.5	190.9
40	199.9	211.1	214.8	180.5
45	190.6	201.6	203.6	170.1
50	181.9	192.4	191.9	161.2
55	174.7	184.1	182.2	153.7
60	167.1	176.5	172.9	146.3
65	159.6	169.1	164.0	139.6
70	153.3	162.7	156.0	133.7
75	147.3	156.6	147.7	127.6
80	141.7	150.5	140.7	121.8
85	136.0	145.0	134.5	117.7
90	131.4	139.7	127.5	113.1
95	127.4	135.2	122.4	109.7
100	123.1	130.6	116.7	105.4
105	119.0	127.2	111.5	102.0
110	115.5	123.1	107.3	99.4
115	112.0	119.5	102.9	96.5
120	108.4	115.2	99.6	94.3
125	105.5	111.9	95.2	92.0

Peso promedio de tres repeticiones				
Tiempo (min)	**Tiempo (min)**	**Tiempo (min)**	**Tiempo (min)**	**Tiempo (min)**
130	103.0	109.3	92.4	89.5
135	100.2	105.7	88.5	87.7
140	97.9	103.8	85.5	85.3
145	95.3	100.7	83.0	82.7
150	93.3	98.2	80.4	81.9
155	91.6	95.7	78.2	79.6
160	88.9	93.6	75.8	78.2
165	87.6	91.6	73.4	76.7
170	86.1	89.6	71.8	75.7
175	84.0	87.8	69.6	73.6
180	82.3	86.6	68.2	72.3
185	81.0	84.6	66.6	71.7
190	79.8	82.7	64.8	70.9
195	78.2	81.9	64.1	69.4
200	76.7	80.2	62.2	68.8
205	76.3	78.6	61.7	68.4
210	75.4	77.6	60.5	67.2
215	73.1	76.0	59.1	66.6
220	71.9	75.2	58.7	65.9
225	71.9	74.0	57.3	65.1
230	70.7	73.2	56.7	64.0
235	70.0	72.0	56.0	63.2
240	69.3	71.4	54.7	62.2
245	68.6	69.9	54.6	62.1
250	67.3	69.7	53.3	61.8
255	66.7	68.8	53.4	60.3

Peso promedio de tres repeticiones				
Tiempo (min)	**Tiempo (min)**	**Tiempo (min)**	**Tiempo (min)**	**Tiempo (min)**
260	66.7	67.8	52.2	60.2
265	66.3	67.1	52.2	60.4
270	65.7	66.6	51.8	59.5
275	64.8	66.2	50.7	58.7
280	64.7	65.2	50.3	58.5
285	64.1	64.5	50.2	58.4
290	63.7	64.5	49.2	57.7
295	63.0	63.7	49.5	57.5
300	62.9	62.9	48.8	57.4
305	62.5	62.2	48.6	57.2
310	62.0	62.3	48.8	56.2
315	60.7	61.9	47.9	55.8
320	60.7	61.5	47.7	56.2
325	60.8	60.6	47.7	55.4
330	59.4	60.6	46.9	55.4
335	59.0	59.8	47.0	55.5
340	58.7	59.7	46.2	55.3
345	58.9	58.6	46.3	54.7
350	57.7	58.9	46.3	54.3
355	57.4	58.5	45.7	54.1
360	57.7	57.8	45.8	54.3
365	56.9	57.5	45.5	53.7
370	57.1	57.5	45.1	53.5
375	57.2	57.3	45.4	53.4
380	57.7	56.9	45.2	53.6
385	56.8	56.5	44.9	53.3
390	56.6	56.1	44.8	52.5

ANEXO 8.

Galería de fotografías.



Figura 16. Secador de bandejas modelo Armfield.



Figura 17. Muestras de cáscara de camu camu.

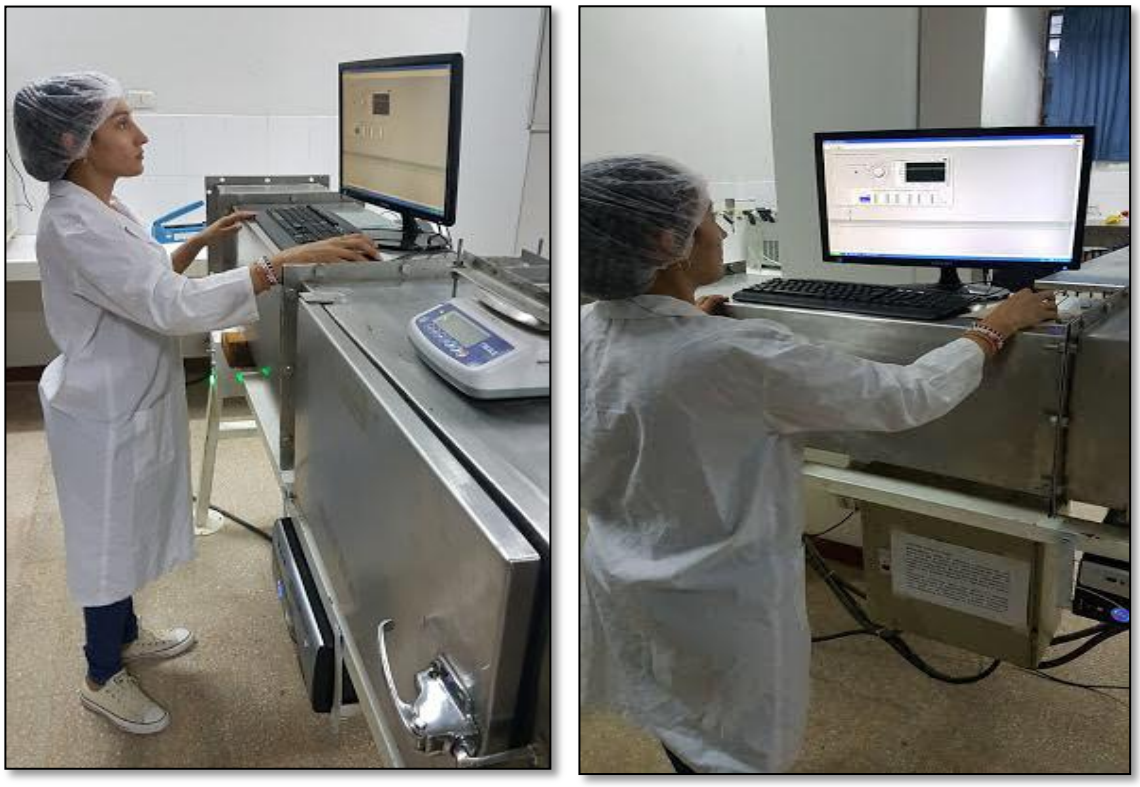


Figura 18. Programando el equipo, según los tratamientos.



Figura 19. Acondicionamiento de las muestras en las bandejas.