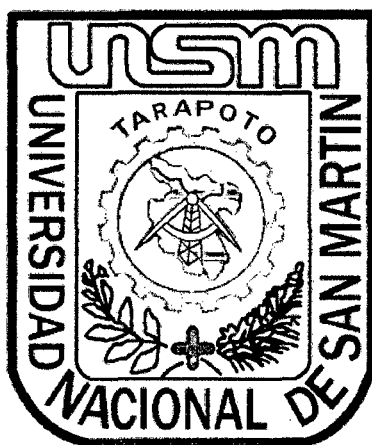


UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN – TARAPOTO
FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



TESIS

**Conservación por liofilización de pulpa camu camu
(*Myrciaria dubia* HBK).**

Para Optar el Título Profesional de:

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

Presentada por la Bachiller

RUT LAZO ARÉVALO

TARAPOTO – PERÚ
2015



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN – TARAPOTO
FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



Conservación por liofilización de pulpa camu camu
(*Myrciaria dubia* HBK).

TESIS

Para Optar el Título Profesional de:

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

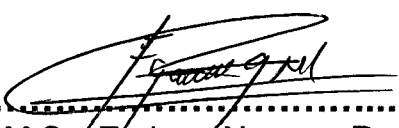
Presentada por la Bachiller

RUT LAZO ARÉVALO

SUSTENTADA Y APROBADA ANTE EL SIGUIENTE JURADO:


.....
Dr. Manuel Fernando Coronado Jorge
PRESIDENTE


.....
Ing. Angel Chavez Salazar
SECRETARIO


.....
Ing. M.Sc. Enrique Navarro Ramirez
MIEMBRO


.....
Dr. Oscar Wilfredo Mendieta Taboada
ASESOR

TARAPOTO – PERÚ
2015

DEDICATORIA

*A nuestro **Dios**, creador del cielo y la tierra, por llenarme de fe, darme ganas de seguir perseverando día a día y darnos las sabias enseñanzas para seguir en este camino.*

*A mis padres **Rosa A. Arévalo Pinedo** y **Segundo B. Lazo Vilchez**, 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 mi abuelita, **Úrsula Vilchez Correa**, quien con su ejemplo, paciencia e infinito amor, me ha inculcado a ser la persona humana, integra, justa y humilde que soy hoy en día.*

*A mis hermanos: **Pablo Saúl** y **Santiago Israel** por darme alegría, confianza y ser mis compañeros siempre.*

AGRADECIMIENTO

Al **Ing. Dr. Oscar Wilfredo Mendieta Taboada**, por la oportunidad que me brindo para ser partícipe del proyecto "Efectos del tipo de secado sobre los parámetros de calidad del camu camu (*Myrciaria dubia* HBK)", proyecto al que pertenece esta investigación; y también por su disponibilidad, motivación, guía y asesoramiento incondicional en la ejecución del presente trabajo de investigación.

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

Al **Ing. M. Sc. Jaime Guerrero Marina, Blgo. Dr. Winston Ríos Ruíz y Ing. Nelson García Garay**, docentes partícipes del proyecto "Efectos del tipo de secado sobre los parámetros de calidad del camu camu (*Myrciaria dubia* HBK)", por su motivación, apoyo y coasesoramiento.

Al **Ing. Dr. Manuel F. Coronado Jorge**, por su apoyo en los trámites correspondientes para la adquisición del liofilizador que fue fundamental para la ejecución de mi trabajo de investigación.

A la **oficina de Investigación y Desarrollo** de la Universidad Nacional de San Martín, por el financiamiento otorgado al presente trabajo de investigación.

A **Dolly Flores Dávila y Guido Saavedra Vela**, 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 muchas Gracias...

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
I. INTRODUCCIÓN	01
Objetivo General	02
Objetivos Específicos	02
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	04
2.1. Materia Prima (camu camu)	04
2.1.1. Aspectos Generales	04
2.1.2. Distribución	06
2.1.3. Ecología y Posibles áreas de cultivo y colecta	06
2.1.4. Cultivo y Explotación	07
2.1.5. Poscosecha	08
2.1.6. Características del Fruto	08
2.1.6.1. Estado de maduración del Fruto	09
2.1.6.2. Constituyentes Químicos	10
2.1.6.3. Propiedades Organolépticas	22
2.1.6.4. Análisis Físico Química	25
2.1.7. Pulpa de camu camu	26
2.1.8. Pulpa deshidratada (Liofilizada)	27
2.1.8.1. Características generales de la pulpa deshidratada	27
2.1.8.2. Características químicas de la pulpa deshidratada	28
2.1.8.3. Características microbiológicas para productos liofilizados	28
2.2. Liofilización	29
2.2.1. Fundamentos de la Liofilización	29
2.2.2. Fases de la liofilización	32
2.3. Agentes Coadyuvantes de Secado	34
2.3.1. Goma Arábica	35
2.4. Reacciones de deterioro de los productos liofilizados	38
2.4.1. Oxidación de lípidos	38
2.4.2. Pardeamiento no enzimático	39
2.4.3. Pérdida de Rehidratación	39
2.4.4. Pardeamiento enzimático	39
2.4.5. Cambios en el color	40

2.5.	Superficie de Respuesta	40
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	41
3.1.	Lugar y fecha de ejecución	41
3.2.	Materia Prima.....	41
3.3.	Equipos y Materiales de Laboratorio.....	41
3.3.1.	Equipos del laboratorio.....	41
3.3.2.	Materiales.....	42
3.3.3.	Reactivos de laboratorio.....	42
3.4.	Metodología.....	43
3.4.1.	Obtención de materia prima.....	43
3.4.2.	Selección y Clasificación.....	43
3.4.3.	Caracterización Físico-Química de la Materia Prima.....	43
3.4.4.	Lavado y Desinfectado.....	45
3.4.5.	Embolsado.....	45
3.4.6.	Almacenado (Congelado)	45
3.4.7.	Descongelado.....	45
3.4.8.	Pulpeado.....	45
a.	Rendimiento de Pulpa.....	55
3.4.9.	Filtrado.....	46
3.4.10.	Caracterización de la pulpa fresca	46
a.	Determinación de la vitamina C	46
b.	Determinación de color	46
3.4.11.	Acondicionamiento de la pulpa fresca.....	46
3.4.12.	Moldeado	47
3.4.13.	Congelado	47
3.4.14.	Desmoldado y congelado.....	47
3.4.15.	Liofilizado.....	48
a.	Pérdida de Peso	48
b.	Determinación de la velocidad de secado	49
c.	Determinación de la difusividad	49
3.4.16.	Embolsado y almacenamiento	50
3.4.17.	Caracterización de la pulpa liofilizada	50
a.	Determinación de la vitamina C	50

b.	Determinación de color	50
c.	Determinación de Índice de color	50
d.	Evaluación sensorial	51
e.	Análisis Microbiológico	51
f.	Análisis Proximal	51
3.4.18.	Análisis de Resultado	52
3.5.	Diseño experimental y análisis estadístico	53
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIONES	54
4.1.	Características físicas del fruto de camu camu (<i>Myrciaria dubia</i> HBK)....	54
4.2.	Características químicas del fruto de camu camu (<i>Myrciaria dubia</i> HBK)	54
4.3.	Rendimiento de pulpa de camu camu (<i>Myrciaria dubia</i> HBK).....	55
4.4.	Secado por Liofilización	56
4.4.1.	Tratamientos en el Secado (Efecto de espesor, presión y cantidad de aglomerante).....	56
4.4.2.	Velocidad de Secado	57
4.4.3.	Influencia del espesor, presión y cantidad de aglomerante en la difusividad.....	60
4.4.3.1.	Valores obtenidos de difusividad.....	61
4.4.3.2.	Efecto de la presión y espesor sobre la difusividad en el secado de pulpa de camu camu.....	61
4.4.3.3.	Efecto de la cantidad de aglomerante y espesor sobre la difusividad en el secado de pulpa camu camu.....	63
4.4.3.4.	Efecto de la cantidad de aglomerante y presión sobre la difusividad en el secado de pulpa camu camu.....	64
4.4.4.	Variación del color en el Secado.....	65
4.4.5.	Perdida del contenido de Vitamina C en el secado	70
4.5.	Análisis químico proximal de la pulpa de camu camu liofilizado	74
4.6.	Análisis Microbiológico de la pulpa de camu camu liofilizado	75
4.7.	Análisis sensorial de la pulpa de camu camu liofilizado	75
4.7.1.	Olor	76
4.7.2.	Apariencia General.	79
4.7.3.	Color	82
V.	CONCLUSIONES	86

VI.	RECOMENDACIONES.....	88
VII.	BIBLIOGRAFÍA.....	89
VIII.	ANEXOS.....	97

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro N°01: Características diferenciales entre frutos de <i>Myrciaria dubia</i> y <i>Myrciaria sp.</i>	05
Cuadro N°02: Contenido de Vitamina C (mg/100 gramos) en la pulpa de algunos frutos	09
Cuadro N°03: Consideraciones para la Selección de la materia Prima a procesar	10
Cuadro N°04: Concentraciones de Vitamina C en camu camu.....	13
Cuadro N°05: Propiedades organolépticas de frutos de camu camu.	23
Cuadro N°06: Parámetros fisicoquímicos para la pulpa de camu camu.	25
Cuadro N°07: Características organolépticas de pulpa de camu camu de acuerdo al estado de madurez del fruto.....	26
Cuadro N°08: Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de pulpa de camu camu para exportación.	27
Cuadro N°09: Composición química del camu camu liofilizado	28
Cuadro N°10: Requisitos microbiológicos para frutas y hortalizas desecadas, deshidratadas o liofilizadas.....	28
Cuadro N°11: Tratamiento del Estudio	53
Cuadro N°12: Características físicas del fruto de camu camu	54
Cuadro N°13: Características Químicas del fruto de camu camu	55
Cuadro N°14: Rendimiento de pulpa de camu camu	55
Cuadro N°15: Valores obtenidos de Difusividad en el secado de pulpa camu camu calculados con la ecuación de Fick para placa plana	61
Cuadro N°16: Comparación del color en el Producto Terminado.....	65
Cuadro N°17: Análisis Físico-químico Proximal de la Pulpa liofilizada de camu camu.	74
Cuadro N°18: Análisis Microbiológico de la Pulpa liofilizada de camu camu liofilizada.....	75

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura N°01: 1: Cultivo de camu camu – 2: Hábito – 3: Rama con flores – 4: Flor – 5: Rama con frutos – 6: Frutos	04
Figura N°02: Estructuras de los ácidos L-ascórbico y L-deshidroascórbico y de sus formas isoméricas. (Los asteriscos indican que poseen actividad vitamina C).	14
Figura N°03: Estructuras del palmitato de ascorbilo y acetales.	15
Figura N°04: Oxidaciones secuenciales de un electrón del ácido L-ascórbico. Todos los compuestos poseen actividad vitamina C, excepto el ácido 2,3-dicetogulónico.	16
Figura N°05: Esquema general de los productos de la degradación oxidativa del AA.....	19
Figura N°06: Esquema de las vías de degradación oxidativa del ácido ascórbico.	19
Figura N°07: Superficie de Sublimación del hielo	30
Figura N°08: Fases de la Liofilización	32
Figura N°09: Estructura de la Goma Arábica	35
Figura N°10: Frutos de camu camu en estado Pinton-maduro.	43
Figura N°11: Flujograma para la obtención de pulpa liofilizada de camu camu ..	44
Figura N°12: Pulpa de camu camu con 0,5 cm de espesor.	47
Figura N°13: Pulpa de camu camu con 1,5 cm de espesor.	47
Figura N°14: Pulpa congelada de camu camu con 0,5 cm de espesor.	48
Figura N°15: Pulpa congelada de camu camu con 1,5 cm de espesor.	48
Figura N°16: Cinética de pérdida de humedad en los ocho tratamientos.....	57
Figura N°17: Velocidad de secado en función a un espesor, presión y cantidad de Aglomerante	58
Figura N°18: Velocidad de secado en función a un espesor mínimo, presión y cantidad de Aglomerante.....	59
Figura N°19: Velocidad de secado en función a un espesor máximo, presión y cantidad de Aglomerante.....	59
Figura N°20: Comportamiento de las HBS en función a un espesor, presión y cantidad de Aglomerante.....	60

Figura N°21: Superficie de respuesta en el análisis de Difusividad de la pulpa de camu camu liofilizada por efecto de presión y espesor.	62
Figura N°22: Superficie de respuesta en el análisis de Difusividad de la pulpa de camu camu liofilizada por efecto de cantidad de aglomerante y espesor.....	63
Figura N°23: Superficie de respuesta en el análisis de Difusividad de la pulpa de camu camu liofilizada por efecto de aglomerante y presión.....	64
Figura N°24: Comparación de los Índices de Color (IC) de la pulpa fresca y los tratamientos de pulpa liofilizada de camu camu.....	66
Figura N°25: Superficie de respuesta de la variación de Índice de color de pulpa de camu camu liofilizada por efecto de la presión y espesor.	67
Figura N°26: Superficie de respuesta de la variación de Índice de color de pulpa de camu camu liofilizada por efecto del espesor y cantidad de aglomerante	68
Figura N°27: Superficie de respuesta de la variación de Índice de color de pulpa de camu camu liofilizada por efecto de la presión y cantidad de aglomerante.	69
Figura N°28: Comparación de pérdidas de Vitamina C (%) en la liofilización de la pulpa de camu camu.....	70
Figura N°29: Superficie de respuesta de la pérdida de Vitamina C en la liofilización de la pulpa de camu camu por efecto de la presión y espesor.....	71
Figura N°30: Superficie de respuesta de la pérdida de Vitamina C en la liofilización de la pulpa de camu camu por efecto del espesor y cantidad de aglomerante.	72
Figura N°31: Superficie de respuesta de la pérdida de Vitamina C en la liofilización de la pulpa de camu camu por efecto de la presión y cantidad de aglomerante.	73
Figura N°32: Superficie de respuesta en el análisis de olor de la pulpa de camu camu liofilizada por efecto de la presión y espesor.	77
Figura N°33: Superficie de respuesta en el análisis de olor de la pulpa de camu camu liofilizada por efecto del espesor y cantidad de aglomerante.	78

Figura N°34: Superficie de respuesta en el análisis de olor de la pulpa de camu camu liofilizada por efecto de la presión y cantidad de aglomerante.	79
Figura N°35: Superficie de respuesta en el análisis de apariencia general de la pulpa de camu camu liofilizada por efecto de la presión y espesor.	80
Figura N°36: Superficie de respuesta en el análisis de apariencia general de la pulpa de camu camu liofilizada por efecto del espesor y cantidad de aglomerante.....	81
Figura N°37: Superficie de respuesta en el análisis de apariencia general de la pulpa de camu camu liofilizada por efecto de la presión y cantidad de aglomerante.....	82
Figura N°38: Superficie de respuesta en el análisis de color de la pulpa de camu camu liofilizada por efecto de la presión y espesor.....	83
Figura N°39: Superficie de respuesta en el análisis de color de la pulpa de camu camu liofilizada por efecto del espesor y cantidad de aglomerante.	84
Figura N°40: Superficie de respuesta en el análisis de color de la pulpa de camu camu liofilizada por efecto de la presión y cantidad de aglomerante.	85

ÍNDICE DE ANEXOS

Pág.

ANEXO N°01: Análisis de Varianza (ANVA) Y prueba de Tukey para el Índice de Color de los 8 tratamientos de pulpa de camu camu liofilizada.....	97
ANEXO N°02: Análisis de Varianza (ANVA) Y prueba de Tukey para la pérdida de vitamina C de los 8 tratamientos de pulpa de camu camu liofilizada.....	98
ANEXO N°03: Análisis de Varianza (ANVA) Y prueba de Tukey para el atributo de olor en la evaluación sensorial de los 8 tratamientos de pulpa de camu camu liofilizada.	99
ANEXO N°04: Análisis de Varianza (ANVA) Y prueba de Tukey para el atributo de color en la evaluación sensorial de los 8 tratamientos de pulpa de camu camu liofilizada.	100
ANEXO N°05: Análisis de Varianza (ANVA) Y prueba de Tukey para el atributo de apariencia general en la evaluación sensorial de los 8 tratamientos de pulpa de camu camu liofilizada.....	101
ANEXO N°06: Ficha para evaluar el atributo de olor en el análisis sensorial de la pulpa de camu camu liofilizado.....	102
ANEXO N°07: Ficha para evaluar el atributo de color en el análisis sensorial de la pulpa de camu camu liofilizado	103
ANEXO N°08: Ficha para evaluar el atributo de apariencia general en el análisis sensorial de la pulpa de camu camu liofilizado	104
ANEXO N°09: Espacio e Inter espacio de color CIE (L*a*b*).....	105
ANEXO N°10: Humedades en Base Seca (HBS) de los tratamientos de pulpa de camu camu en función a 14 horas de liofilizado.....	106
ANEXO N°11: Cuadro de datos de humedades en base seca medias, y velocidades se secado de los 8 tratamientos	107
ANEXO N°12: Arbusto de camu camu.	108
ANEXO N°13: Frutos de camu camu.	108
ANEXO N°14: Cosecha de materia prima (camu camu).	109
ANEXO N°15: Almacenamiento de Materia Prima por lotes (600g).....	109
ANEXO N°16: Pulpa de camu camu (<i>Myrciaria dubia</i>) en estado pintón-maduro.	110

ANEXO N°17: Determinación de color de la pulpa de camu camu.....	110
ANEXO N°18: Liofilización de la pulpa de camu camu.....	111
ANEXO N°19: Pulpa de camu camu liofilizada.....	111
ANEXO N°20: Determinación de color de la pulpa de camu camu liofilizada.	112
ANEXO N°18: Evaluación sensorial de los atributos de olor, color y apariencia general de la pulpa de camu camu liofilizada	112

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación "Conservación por liofilización de pulpa de camu camu (*Myrciaria dubia* HBK)" se buscó una metodología para la conservación de la calidad de la pulpa de camu camu, de los cuales fueron sometidos a diferentes espesores (0,5 y 1,5 cm), presiones (0,002 y 1,650 mbar) y cantidades de aglomerante (0,5 y 1,5 %), donde los tratamientos N°1 (0,5E x 0,002P x 0,5A) y N°2 (0,5E x 0,002P x 1,5A) presentaron mejores características organolépticas y nutricionales, es decir con características sensoriales aceptables y con pérdidas de vitamina C mínimas de 8,73 y 12,74% respectivamente, donde la diferencia entre ellas era la cantidad de aglomerante quien era causante de influir en la conservación del color y humedad mínima final; entonces al escoger entre estas a la mejor, se escogió al tratamiento que presentaba mínimas pérdidas de vitamina C (T1) ya que para nosotros fue lo primordial, por más que presentaba deficiencias en la humedad final con 0,0870 g H₂O/ g sólido seco, ya que nos indicó que faltaba secar aún más; entonces a esta mejor muestra se le realizó un análisis proximal y microbiológico donde se obtuvo contenidos de 3,27% de proteínas, 0,17% de grasa, 3,07% de ceniza, 0,95% de fibra y 86,8% de carbohidratos, y resultó microbiológicamente aceptable, ya que se obtuvo 10 de Mohos, menores cantidades a 10 de levaduras y ausencia de *Echericha coli* y *Salmonella sp.*

El efecto del espesor, presión y cantidad de aglomerante fueron estimadas en las curvas de pérdida de peso, velocidad de secado, color, olor y pérdida de vitamina C, en función del tiempo de secado (14 horas); las curvas de secado fueron ajustadas con la ecuación de la segunda ley de Fick y la difusividad obtenida fue de $1,2303 \times 10^{-9}$ m²/s en el tratamiento con 0,5 cm espesor, 0,002 mbar de presión, y 0,5 % de cantidad de aglomerante.

El mejor tratamiento también se determinó mediante la evaluación sensorial con escala hedónica de 7 puntos y panelistas no entrenados. Los atributos de evaluación sensorial como olor, color y apariencia general fueron presentados mediante las gráficas de superficie de respuesta; obteniéndose resultados similares a los análisis anteriores que presentaron mejor conservación color y de vitamina C.

ABSTRACT

In the present research work "Conservation by lyophilization pulp camu camu (*Myrciaia dubia* HBK)" a methodology for preserving the quality of the pulp of camu camu, which were subjected to different thicknesses (0.5 sought and 1.5 cm), pressures (0.002 and 1.650 mbar) and amounts of binder (0.5 to 1.5%), where treatments No.1 (0,5E x 0,002P x 0.5A) and No. 2 (x 0,5E 0,002P x 1.5A) showed better organoleptic and nutritional characteristics, ie with acceptable sensorial properties and with minimal losses of vitamin C of 8.73 and 12.74% respectively where the difference between them was the amount of binder who was causing influence conservation of color and low final moisture; then to choose between these the best, they chose the treatment had minimal losses of vitamin C (T1) and that for us was the bottom line, though was deficient in the final moisture 0.0870 g H₂O / dry solid g as it indicated to us that further dry missing; then this improved sample underwent a proximal and microbiological analysis which contained 3.27% protein, 0.17% fat, 3.07% ash, 0.95% fiber and 86.8% was obtained carbohydrate, and was microbiologically acceptable as 10, molds, smaller amounts was obtained 10 Echericha absence of yeast and coli and Salmonella sp.

The effect of thickness, pressure and amount of binder were estimated cornering weight loss, drying rate, color, smell and loss of vitamin C, depending on the drying time (14 hours); Drying curves were fitted with the equation of Fick's second law and diffusivity obtained was $1.2303 \times 10^{-9} \text{ m}^2 / \text{ s}$ in the treatment with 0.5 cm thickness, 0.002 mbar, and 0.5 % of amount of binder.

The best treatment was also determined by sensory evaluation 7-point hedonic scale and untrained panelists. Sensory evaluation attributes such as odor, color and overall appearance was presented by the graphical response surface; similar results to previous analyzes that showed better conservation color and vitamin C.

I. INTRODUCCIÓN.

El camu camu está considerado como un cultivo con gran potencial para lograr valor agregado de alto nivel, especialmente por el alto contenido de ácido ascórbico, 2780 mg/100g de pulpa fresca según Bejarano & Bravo (1990), siendo hasta el momento el único fruto que se encontró con esa cantidad, sobrepasando muchas veces los 3000 mg/100 g de pulpa fresca (Pinedo *et al.* 2001).

El desarrollo de valor agregado está relacionado con la maduración de los frutos, variando para una misma planta desde verde (0,0 % coloración granate), verde pintón (25-50% coloración granate), pintón (50-75 coloración granate) y maduro (75-100% coloración granate) (Correa 2000); (Pinedo *et al.* 2001), (Riva & Gonzales 1997). Por otra parte, Vásquez (2000) indica que actualmente es posible obtener pulpa congelada, concentrada, deshidratada, atomizada. Pero también puede obtenerse pulpa refinada, liofilizada, atomizada (Vega 2001) y productos con alto valor agregado como *sachets*, polvos hidrolizables, complementos vitamínicos, entre otros (Vega, 2000).

Estos procesos son muy importantes para conservar el contenido vitamínico de la pulpa de camu camu, y mantenerlos también por el mayor tiempo posible sin sufrir mayor disminución, ya que la vitamina C es considerada la más sensible y lábil, susceptible de deteriorarse fácilmente por oxidación, cambios de pH, temperatura y acción de la luz, entre otros (Belitz-Grosch, 1985; citado por Vega, 2005).

Entre estos, uno de los procesos más adecuados es la liofilización, en el cual ocurre la deshidratación por congelación (líquido a sólido) y sublimación (sólido a vapor), bajo condiciones cuidadosamente controladas de presión y temperatura, para dejar una estructura

que revierta el estado previo, por adición de agua (Amos, 1986; citado por Vega, 2005).

La liofilización es un proceso durante el cual el material primero se congela y se concentra el solvente (generalmente el agua), para luego ser retirado por sublimación a presión reducida, hasta alcanzar valores de 5% de humedad o menores (Rey, 1975; citado por Ceballos, 2008). La congelación debe ser muy rápida con el objetivo de obtener un producto con cristales de hielo pequeños y en un estado amorfo, para ello se debe aplicar técnicas de congelamiento y así la superficie en contacto sea de poco espesor, ya que para que la sublimación se produzca en buenas condiciones todo el material debe estar congelado, por lo tanto al aportar calor durante el proceso es importante evitar que se funda la masa (Parzanese, 2008).

La liofilización termina con la etapa de almacenamiento del producto en forma controlada (libre de oxígeno y de vapor de agua), logrando así que tenga una larga vida anaquel y retengan en una alta proporción sus características organolépticas, físicas, químicas y biológicas. Por medio de la liofilización, se logra reducir las pérdidas de los compuestos responsables del sabor y aroma en los alimentos en mayor proporción que otros sistemas de secado. (Rey, 1975; citado por Ceballos, 2008).

La finalidad del presente trabajo de investigación es lograr los siguientes objetivos:

Objetivo General.

- Obtener pulpa liofilizada de camu camu conservando su calidad sensorial y nutricional.

Objetivos Específicos.

- Determinar las condiciones adecuadas de procesamiento en el liofilizado de la pulpa de camu camu, controlando presión y espesor de la muestra.

- Evaluar el efecto del empleo del agente aglomerante (goma arábica) sobre las características sensoriales y nutricionales de pulpa de camu camu liofilizada.
- Efectuar la caracterización físico-química y microbiológica del producto liofilizado.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Materia Prima: camu camu (*Myrciaria dubia* HBK).

2.1.1. Aspectos Generales

El camu camu pertenece a la familia botánica *Myrtaceae*, género *Myrciaria*. A pesar que este género no es muy amplio, poco se ha estudiado de la taxonomía del camu camu. Se ha clasificado como *Myrciaria dubia* (H.B.K) identificado por *Mc Vaugh* (1958) y como *Myrciaria paraensis Berg* identificado por *Mc Vaugh* (1963), pero los Taxónomos han optado por *M. dubia* debido a que ésta fue la primera denominación válida utilizada. (Villachica, 1996).

Además, se ha constatado que se conoce por camu camu dos tipos de frutal muy semejantes en la forma del fruto, pero con diferente forma vegetativa; uno es un arbusto y el otro es un árbol y, aparentemente, no son de la misma especie. Las principales diferencias entre éstas dos especies de camu camu: arbustivo *Myrciaria dubia* y arbóreo *Myrciaria sp.*, se presentan en el Cuadro N°01.

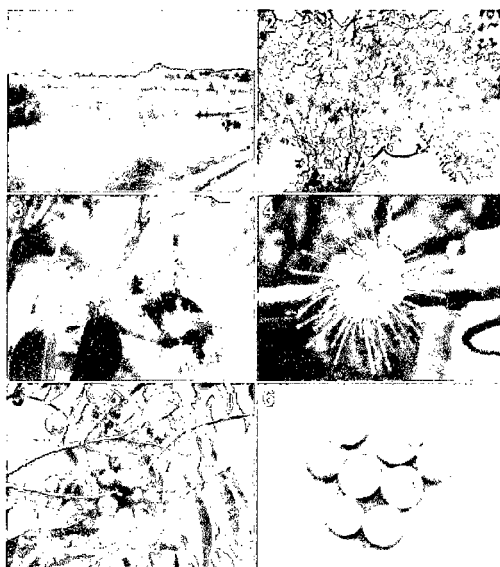


Figura N°01: 1: Cultivo de camu camu – 2: Hábito – 3: Rama con flores – 4: Flor – 5: Rama con frutos – 6: Frutos

Cuadro N°01: Características diferenciales entre frutos de *Myrciaria dubia* y *Myrciaria sp.*

CARACTERISTICAS	<i>Myrciaria dubia</i>	<i>Myrciaria sp.</i>
Porte de planta	Arbusto	Árbol
Época de cosecha	Diciembre – Marzo	Marzo – Mayo
Peso de fruto	10 g hasta 20 g	23 g hasta 40 g
Color de fruto	Rojo intenso a morado	Morado a marrón
Cáscara del fruto	Apergaminada	Semi leñosa
Color de semilla	Amarillenta	Rosada
Tamaño de la semilla	Generalmente grande	Pequeña y pilosa
Forma de semilla	Chata, reniforme	Ovalada, dura
Sección de la semilla	Ovalada	Plana
Semillas por fruto	1 a 4	1 a 2
Diámetro tronco	Hasta 1,0 m	Hasta 0,5 m
Corteza	Rojiza se desprende en grandes placas	Roja rojiza
Ramificación	Copa baja, globosa,	Copa muy alta
Fruto	densa	Mayor tamaño
Contenido de ác. ascórbico	Menor tamaño Mayor	Menor

Fuente: Villachica (1996)

El camu camu arbustivo es el más extendido geográficamente al nivel de la Amazonía peruana, normalmente crece en las orillas (primera terraza) de cochas, quebradas, caños y ríos de agua negra, caracterizadas por su acidez, y por permanecer sumergidas total o parcialmente durante cinco meses cada año, siendo así el tipo de camu camu arbustivo que tiene mayor posibilidad de exportación, en cantidad y calidad, y es al que nos referiremos en el presente estudio. En cambio el camu camu arbóreo, generalmente se encuentra en los tahuampas de aguas negras (de la segunda terraza) y, en las crecientes de mayor intensidad, la parte inferior (3 a 4 cm) del tallo que sumergida; el tallo es largo y en algunos casos alcanza hasta 30 a 40 m de altura, liso de color rojizo y con ramificaciones elevadas (Villachica, 1996).

2.1.2. Distribución.

Distribución mundial. *M. dubia* es un componente importante de la vegetación de bosques riparios temporalmente inundados de Perú (Loreto y Ucayali), Brasil, Venezuela y Colombia.

Además, la especie está presente en Ecuador, Bolivia y las Guyanas, por lo que existe una gran diversidad de nombres vernaculares: camu camu, camocamo (Perú), algracia, guayabillo blanco, guayabito, limoncillo (Venezuela), azedinha, cacari, miraúba y muraúba (Brasil) (Dostert, 2009).

Distribución en Perú. La especie presenta una alta abundancia en el territorio amazónico de Perú, donde se encuentra a lo largo de la ribera de ríos y lagos que están asociados con los ríos Napo, Nanay, Ucayali, Marañón y Tigre. Camu camu también se encuentra en forma cultivada en Satipo (Junín) (Dostert, 2009).

2.1.3. Ecología y Posibles áreas de cultivo y colecta.

Hábitat. El área natural de *M. dubia* es la vegetación riparia de zonas estacionalmente inundadas del territorio amazónico, especialmente a lo largo de la frontera peruano-brasilera. Ahí forma frecuentemente grandes extensiones de matorrales en las áreas inundadas cercanas a los ríos, con hasta 8.700 ind./ha.

M. dubia se encuentra sólo en territorios con más de 1.500 mm de precipitación anual y temperaturas sobre 20°C. Una altitud de más de 200-300 msnm parece ser el límite superior para la distribución natural de la especie (Dostert, 2009).

Crecimiento. *M. dubia* produce sus flores en ciclos anuales. El periodo de floración comienza mayoritariamente en la fase no inundada. La producción de flores continúa durante las subidas y finaliza al comienzo del periodo de inundación en la región. Mientras más tarde se alcanza el punto máximo de inundación, también es más largo el período de producción de frutos. El ciclo total de la fenología reproductiva del camu camu ocurre en 77 días, la floración dura 15 días y 62 corresponden a la

formación y maduración del fruto; se afirma también que la fertilidad efectiva de las flores que logran producir frutos maduros es del 27%. El crecimiento inicial de las plántulas es lento, de modo que ellas no han alcanzado 50 cm de altura sino hasta después de cerca de un año y están listas para ser plantadas. Después de la plantación, el tallo crece bastante rápido hasta alcanzar 1,5 - 2 m de altura. La producción de los primeros frutos comienza en el segundo o tercer año, pero puede extenderse hasta el quinto año en áreas subóptimas de cultivo (López & Linares, 2007).

2.1.4. Cultivo y Explotación.

Cultivo. Desde 1996 *M. dubia* es cultivada. Un cultivo experimental de camu camu ha mostrado resultados promisorios y comenzó en Perú hacia 1997; sin embargo, el soporte técnico para los agricultores implicados no fue satisfactorio, de modo que el éxito económico ha demorado en llegar. Además, las semillas utilizadas al momento no fueron adecuadamente seleccionadas, sin poner atención a cuáles eran las mejores plantas madres (alta producción de frutos, buena coloración, alto contenido de vitamina C). Por estas dos razones el cultivo no ha sido comercialmente exitoso hasta ahora. Ensayos de cultivo de *M. dubia* en terrenos estacionalmente no inundados fueron promisorios y mostraron un período prolongado de cosecha desde noviembre hasta mayo. El cultivo se logra, entre otros, incluso en suelos oxisoles arcillosos por sobre la línea de inundación y pueden ser sólo llevados a cabo en zonas bajas (< 500 msnm). Para el cultivo deberían ser seleccionadas formas mejoradas probadas, que muestren alta producción de frutos, inicio temprano de la producción y alta calidad de los frutos. (Dostert, 2009).

Suelo. Se encuentra *M. dubia* tanto en suelos arcillosos ricos en nutrientes del área de inundación del Amazonas, así como en suelos arenosos pobres de las riberas de los ríos de aguas negras de la región.

Cosecha y rendimiento. La cosecha en poblaciones naturales de *M. dubia* es técnicamente difícil, ya que al momento de la cosecha (diciembre a marzo) las plantas se encuentran en los terrenos inundados y sólo los frutos que se encuentran sobre la superficie del agua pueden

ser colectados con ayuda de canoas. Por otro lado, solamente una pequeña parte de los frutos disponibles pueden ser cosechados de esta manera. Poblaciones naturales producen 9,5-12,7 ton frutos/ha/año y en plantaciones la productividad es notoriamente más elevada (Dostert, 2009).

Sostenibilidad. Una cosecha con ayuda de canoas asegura que los montos de cosecha tengan sólo una influencia limitada en el desarrollo futuro de las poblaciones. Por otro lado, la corta de ejes o árboles completos durante la cosecha es una práctica corriente para poder alcanzar más cómodamente los frutos, lo que es muy dañino para los árboles y lleva a una degradación de todas las poblaciones naturales. La corta de ejes o árboles completos durante la cosecha debería ser reemplazada por otras técnicas para no poner bajo amenaza las poblaciones naturales de la especie.

2.1.5. Poscosecha

La duración de frutos frescos es muy limitada, generalmente pocos días. Un cultivo en grandes extensiones o una colecta extensiva en poblaciones naturales tienen por lo tanto sentido cuando los mercados y/o las posibilidades de procesamiento o conservación (sobre todo refrigeración) se localizan en las cercanías directas del área de cultivo o colecta (Dostert, 2009).

2.1.6. Características del Fruto.

El camu camu (*Myrciaria dubia* HBK.) es un fruto de la Amazonía que crece principalmente en Perú, Colombia, Brasil y Venezuela.

El camu camu puede alcanzar aproximadamente 7 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.

El color de los frutos varía según su ciclo de maduración, desde el verde hasta el negro púrpura al madurar. El peso del fruto varía entre 2 a 20 gramos y puede tener entre 2 a 4 centímetros de diámetro; presenta de 2 a 3 semillas por fruto.

El fruto es globoso, de aproximadamente 2 a 4 cm. de diámetro con un peso promedio de 11.7 gramos. La cáscara es lisa y brillante de color rojo oscuro, hasta negro púrpura al madurar. La pulpa representa del 60 al 62%, la semilla el 20% y la cáscara del 18 al 20%. La principal característica del fruto es su contenido de vitamina C (ácido ascórbico) con relación a la pulpa de otros frutos tal como se observa en el Cuadro N°02 (Montes, 2002):

Cuadro N°02: Contenido de Vitamina C (mg/100 gramos) en la pulpa de algunos frutos

Fruta	Nombre Científico	mg. Vitamina C / 100 gramos
Piña	<i>Ananus comosus</i>	15
Mango	<i>Mangifera indica</i>	28
Mandarina	<i>Citrus reticulata</i>	31
Tamarindo	<i>Cyphomandra betaceae</i>	40
Jugo de Limón	<i>Citrus limón</i>	46
Naranja	<i>Citrus sinensis</i>	53
Fresa	<i>Fragaria x ananassa</i>	57
Papaya	<i>Carica papaya</i>	62
Acerola	<i>Malpighia glabra</i>	1,677
Rosa Mosqueta	<i>Rosa sp. Cv. 'Vitaminnyj-VNIVI</i>	2,000 to 2,500
Camu camu	<i>Myrciaria dubia</i>	2,700

Fuente: Montes A (2002).

2.1.6.1. Estado de maduración del Fruto.

El estado de maduración es un aspecto muy considerado por los diferentes autores, ya que en base a ello se seleccionará el fruto para ser aprovechado industrialmente; en el Cuadro N°03 se presentan las decisiones de aprobación del fruto según su estado de madurez, color y dureza (Ramos, 2002).

Cuadro N°03: Consideraciones para la Selección de la materia Prima a procesar

N°	Estado de maduración del fruto	Color del fruto	Dureza del fruto	Decisión
1	Verde	0% de color granate	Muy duro	Rechazo
2	Verde-Pintón	25 – 50% color granate	Duro	Rechazo
3	Pintón-Maduro	50-75% color granate	Menos duro	Aprobado
4	Maduro	75 – 100% color granate	Compacto	Aprobado
5	Extra maduro	Rojo – morado	Suave	Se selecciona las no fisuradas

Fuente: Instituto de Investigación de la Amazonía Peruana IIAP (2002)- Iquitos; citado por Ramos, 2002.

2.1.6.2. Constituyentes Químicos.

Diferentes autores indican que los frutos de camu camu, contienen ácido ascórbico (Vitamina C) en concentraciones mayores a 2000 mg /100 g de pulpa fresca, así mismo compuestos volátiles como etil acetato, α - pineno, α - fencheno, etil butirato, canfeno, β - pineno, β - mirceno, α - felandreno, α - terpineno, d- limoneno, β - felandreno, γ - terpineno, ρ - cimeno, terpinoleno, fenchol, β - cariofileno. Así tenemos que según la técnica de absorción atómica se identificaron 14 minerales primordiales como son: Potasio, Calcio, Magnesio, Sodio, Aluminio, Boro, Cobre, Hierro, Manganeso, Zinc, Cloro, Cobalto, Cadmio, Plomo. Adicionalmente se encuentran otros compuestos como: Carotenoides, Compuestos fenólicos totales e individuales, Antocianinas totales, Flavonoides Compuestos fenólicos, Ácidos grasos y Aminoácidos (Rengifo, 2009).

En cáscara se determinó la presencia de ácido ascórbico, cuatro tipos de antocianidinas individuales, compuestos fenólicos totales, antocianinas totales y flavonoides (Rengifo, 2009).

En semilla se determinó el contenido de ácido ascórbico, compuestos fenólicos totales, antocianinas totales y flavonoides (Rengifo, 2009).

Ácido Ascórbico (Vitamina C)

Como se puede observar en el Cuadro N°04, trece autores, han realizado estudios tanto de vitamina C, como de ácido ascórbico al camu camu, utilizando tres métodos, obteniendo resultados diferentes. Mediante el método de titulación, se cuantifica vitamina C total (ácido ascórbico y ácido dehidroascórbico), con resultados variables por cuantificar ambos compuestos, siete autores que emplearon esta metodología, indican márgenes de concentración entre 2000 y 3000 mg/100 g. (Rengifo, 2009) Para el caso de la cuantificación de ácido ascórbico por HPLC, se tiene mayor exactitud en los análisis, por su comparación con estándares de referencia de alta pureza, este método es el más recomendado.

Otra metodología empleada es la Espectrofotometría UV-Vis, a diferentes longitudes de onda, reportando concentraciones de 2000 mg /100 g (Guija *et al.*, 2005; citado por Rengifo, 2009) y de 1868 ± 283 mg /100 g según García *et al.* (2006), citado por Rengifo (2009).

Además de los aspectos considerados por los diferentes autores, está el estado de maduración del fruto. Klinar *et al.* (2009) reportan que el fruto pintón maduro es el que contiene mayores concentraciones (2.86%) de ácido ascórbico, mientras que en los estudios de Alves *et al.* (2002) se reporta para predominantemente púrpura 2061,04 mg /100 g de pulpa fresca, en el estudio de Zapata & Dufour (1993) se reporta 9,39 g/kg para parcialmente maduro y 9,39 g/kg para el fruto maduro, y Justi *et al.* (2000) reporta mayor concentración de ácido ascórbico en la pulpa del fruto verde con $1,49 \pm 0,03$ g/100 g. Klinar *et al.* (2009) y Maeda *et al.* (2006) indican que la mayor concentración de vitamina C se encontraría en la cáscara con 2450 mg/100 g y $3\ 092,62 \pm 35,11$ respectivamente, esto podría deberse al método de tratamiento de la muestra en la cual podrían encontrarse residuos de pulpa que sumarían

a la cáscara propiamente dicha y por ende la concentración de vitamina C aumentaría (Rengifo, 2009).

Cabe indicar que los resultados de laboratorio, reportados por los autores citados, expresan las concentraciones de ácido ascórbico en mg/100 g; %, g/100 g y g/Kg.

Son de resaltar los resultados reportados por Sotero *et al.* (2009), que obtienen la mayor concentración de ácido ascórbico cuando el material se seca a 60°C, logrando valores 7 veces superior a lo reportado por otros autores para pulpa – $14337,94 \pm 2506,1$ mg /100 g; 5 veces superior en cáscara – $10506,37 \pm 5039,2$; semilla – $87,08 \pm 20,5$ mg /100 g (Rengifo, 2009).

Cuadro N°04: Concentraciones de Vitamina C en camu camu

N°	Concentración de Vitamina C	Parte utilizada	Método utilizado	Referencias
01	Fruto entero – 1420 mg/100 g; pulpa - 1770 mg/100 g; cáscara- 2450 mg/ 100g; semillas - 610 mg/100 g.	Fruto entero, pulpa, cáscara, semillas.	Titulación	Klinar <i>et al.</i> (2009) – Iquitos, Perú.
02	Pulpa – 14337,94 ± 2506,1 mg/ 100 g; cáscara – 10506,37 ± 5039,2; semilla – 87,08 ± 20,5 mg /100 g.	Pulpa, cáscara y semilla (secos a 60°C)	HPLC	Sotero <i>et al.</i> (2009).
03	Inmaduro – 1,78 %; verde pintón – 2,05 %; pintón maduro - 2,34 %; maduro -2,86 %.	Frutos	Titulación	Klinar <i>et al.</i> (2009) – Iquitos, Perú.
04	1868 ± 283 mg/100 g.	Frutos	Espectrofotometría	García <i>et al.</i> (2007).
05	Pucallpa (verde) – 2,0053 ± 0,0488; Pucallpa (maduro) – 2,4311 ± 0,011; Iquitos (verde) – 1,4012 ± 0,0007; ± Iquitos (maduro) – 1,7935 ± 0,0091; Iquitos, población natural (verde) – 1,9174 ± 0,0378; Iquitos, población natural (maduro) – 2,1811 ± 0,0137.	Frutos	HPLC	Villegas <i>et al.</i> (2007).
06	Pulpa madura – 2330,0 mg/100 g; deshidratado a 60°C – 2990,0 mg /100 g; deshidratado a 70°C – 2895,0 mg/100 g.	Frutos	Titulación	Sotero <i>et al.</i> (2007).
07	> 2000 mg AA/100 g pulpa.	Frutos	Titulación	Arévalo & Kieckbusch. (2006) – Brasil
08	Cáscara – 3092,62 ± 35,11 mg /100 g; mesocarpo - 1,640,57±8,28 mg/ 100 g.	Cáscara y pulpa	Titulación	Maeda <i>et al.</i> (2006)
09	2100,00 mg/ 100 g pulpa.	Frutos	Espectrofotometría	Guija <i>et al.</i> (2005)
10	6112 ± 137,5 mg/ 100 g de pulpa	Frutos	HPLC	Yuyama <i>et al.</i> (2002) - Brasil
11	Predominantemente verde – 1910,31 mg /100 g; predominantemente púrpura – 2061,04 mg / 100 g.	Frutos	Titulación	Alves <i>et al.</i> (2002) – Brasil.
12	Verde – 1,49±0,03 g /100 g; medio maduro – 1,40±0,04 g/100 g; maduro – 1,38±0,01 g/100 g.	Frutos	Titulación	Justi <i>et al.</i> (2000) – Brasil.
13	Inmaduro – 8,45 g/ kg; parcialmente maduro – 9,39 g/kg; maduro – 9,39 g/kg.	Frutos	HPLC	Zapata & Dufour, (1993) - Iquitos, Perú.

Fuente: Rengifo (2009)

Estructura y propiedades generales

El ácido L-ascórbico (AA) es un compuesto afín a los carbohidratos (Figura N°02) con propiedades ácidas y reductoras debidas al resto 2,3-enodiol; es un compuesto muy polar y, por tanto, es muy soluble en disoluciones acuosas e insoluble en disolventes apolares. El carácter ácido del AA se debe a la ionización del grupo hidroxilo en el C-3 ($pK_{a1} = 4,04$ a $25^{\circ}C$). Una segunda ionización, la disociación del hidroxilo en el carbono C-2 ($pK_{a2} = 11,4$ a $25^{\circ}C$), es mucho menos favorable. La oxidación de dos electrones y la disociación de hidrógeno convierten el ácido L-ascórbico en el ácido L-deshidroascórbico (DHAA). (Fennema, 2000)

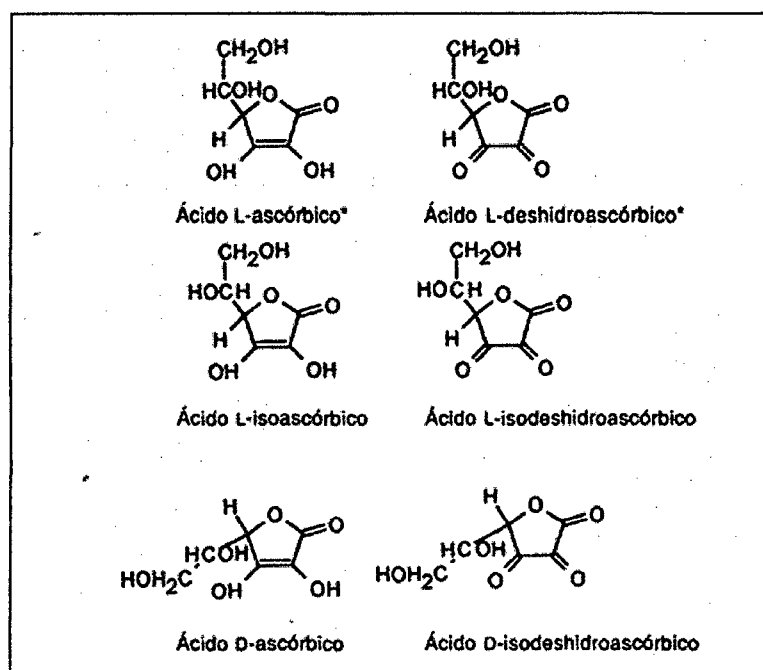


Figura N°02: Estructuras de los ácidos L-ascórbico y L-deshidroascórbico y de sus formas isoméricas. (Los asteriscos indican que poseen actividad vitamina C).

El DHAA exhibe aproximadamente la misma actividad que el AA porque se reduce casi totalmente a AA en el organismo. Los ácidos L-isoascórbico (isómero óptico en la posición C-5) y D-ascórbico (isómero óptico en la posición C-4) (Figura N°02), se comportan químicamente de la misma manera que el AA pero estos compuestos carecen de actividad

vitamina C. El ácido L-isoascórbico y el AA se utilizan ampliamente como ingredientes de los alimentos por sus actividades reductoras y antioxidantes (por ej., en el curado de las carnes y para la inhibición del pardeamiento enzimático en frutas y hortalizas) pero el ácido isoascórbico (o el D-ascórbico) no tienen valor nutritivo. El AA existe naturalmente en frutas y hortalizas y, en menor extensión, en los tejidos animales y en los productos derivados de los mismos. En la naturaleza está presente casi exclusivamente en la forma reducida de ácido L-ascórbico (es decir, AA). La concentración de DHA~ en los alimentos es, casi siempre, sustancialmente más baja que la de AA y depende de las velocidades de oxidación del ascorbato y de la hidrólisis del DHAA a ácido 2,3-dicetogulónico. (Fennema, 2000)

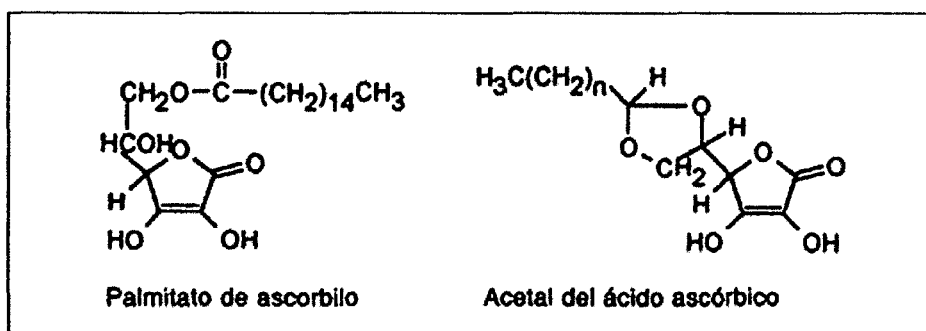


Figura N°03: Estructuras del palmitato de ascorbilo y acetales.

En ciertos tejidos animales existen actividades deshidroascorbato reductasa y ascorbato radical libre reductasa. Se cree que estas enzimas protegen a la vitamina mediante reciclado, contribuyendo a que existan bajas concentraciones de DHAA. Una cantidad significativa, aunque se desconoce su cuantía, de la fracción DHAA de los alimentos y del material biológico parece que se debe a un artefacto analítico que se origina por oxidación del AA a DHAA durante la preparación de las muestras para su análisis. La inestabilidad del DHAA complica más dichos análisis. El AA puede añadirse a los alimentos como ácido no disociado o como sal sódica neutralizada (ascorbato sódico). La conjugación del AA con compuestos hidrófobos confiere al resto del ácido ascórbico un carácter liposoluble. Los ésteres de los ácidos grasos, como el palmitato de ascorbilo y los acetales de ácido ascórbico (Figura N°03)

son liposolubles y pueden proporcionar un efecto antioxidante directo en los entornos lipídicos. La oxidación del AA puede ocurrir en dos procesos de transferencia de un electrón o como una reacción única de dos electrones sin detección del intermediario semihidroascorbato (Figura N°04). En las oxidaciones de un electrón, el primer paso implica la transferencia de un electrón formándose el radical libre ácido semideshidroascórbico. La pérdida de un electrón adicional rinde ácido deshidroascórbico, el cual es muy inestable debido a la sensibilidad a la hidrólisis del puente de lactona. Dicha hidrólisis, que irreversiblemente forma ácido 2,3-dicetogulónico (Figura N°04), es responsable de la pérdida de la actividad vitamina C.

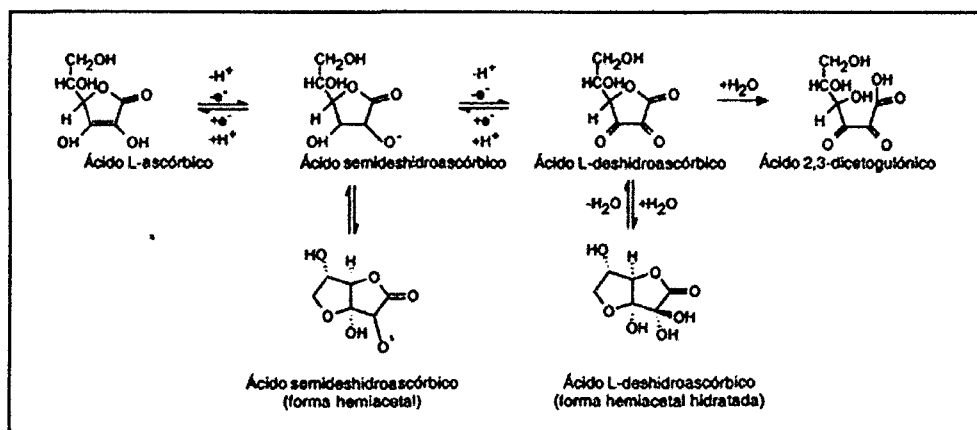


Figura N°04: Oxidaciones secuenciales de un electrón del ácido L-ascórbico. Todos los compuestos poseen actividad vitamina C, excepto el ácido 2,3-dicetogulónico.

El AA es muy sensible a la oxidación, especialmente cuando la reacción está catalizada por iones metálicos, como Cu^{2+} y Fe^{3+} . Asimismo, el calor y la luz aceleran el proceso. En tanto que factores como el pH, la concentración de oxígeno y la actividad del agua, influyen poderosamente en la velocidad de la reacción. Como la hidrólisis del DHAA se produce muy fácilmente, la oxidación del DHAA constituye un aspecto esencial y frecuentemente limitante de la velocidad de degradación oxidativa de la vitamina C. Una propiedad del AA que frecuentemente no se tiene presente es su facultad de actuar, a bajas concentraciones, como pro oxidante con altas tensiones de oxígeno. Probablemente esto se deba a

la generación, mediada por el ascorbato, de radicales hidroxilo (OH[•]) u otras especies reactivas. Al parecer, esta circunstancia tiene poca importancia en la mayoría de los aspectos de la química de alimentos.

Degradación Química del ácido ascórbico.

Debido a su estructura química el AA es muy sensible a la degradación. Numerosos factores influyen en los mecanismos degradativos, entre ellos el pH, la concentración de oxígeno, las enzimas, los catalizadores metálicos, la concentración inicial del ácido y la relación AA – ADA (Fennema, 2000).

La degradación del AA se lleva a cabo mediante procesos oxidativos que resultan de la transferencia de dos electrones. Primeramente se origina el monoanión ascorbato (AH⁻), el cual, con la pérdida adicional de un segundo electrón, forma el ADA, altamente inestable y susceptible a la hidrólisis del anillo lactona, que se hidroliza con gran facilidad para producir ácido 2,3-dicetogulónico (DCG), que posteriormente se degrada por decarboxilación, con la consiguiente pérdida del valor nutricional del AA (Figura N°05).

Hay tres vías de degradación del AA, la vía oxidativa catalizada, la vía oxidativa no catalizada y la vía bajo condiciones anaeróbicas (Figura N°06).

La vía oxidativa catalizada está influenciada por la presencia de oxígeno e iones metálicos como hierro (Fe³⁺) y cobre (Cu²⁺) que actúan acelerando la velocidad de la reacción. El AA se degrada fundamentalmente vía su monoanión (AH⁻), rindiendo ADA. La velocidad de esta reacción depende de la concentración del catalizador metálico en presencia de oxígeno.

Si la presión parcial de oxígeno disminuye, la reacción se estabiliza y posiblemente exista una oxidación directa por radicales hidroperóxidos (HO₂) o peróxido de hidrógeno (H₂O₂). (Fennema, 2000).

Esta vía de degradación aeróbica implica la formación de un complejo metal-anión que se combina con el oxígeno para dar un complejo metal-oxígeno-ligando, el cual se descompone rápidamente para dar el radical anión ascorbato ($AH\cdot$), el anión metálico original y HO_2 . Así el $AH\cdot$ reacciona ahora con el oxígeno y produce ADA.

En la vía oxidativa no catalizada, el $AH\cdot$, sufre el ataque directo del oxígeno molecular, rindiendo primero el radical aniónico $AH\cdot$ y H_2O_2 , que rápidamente se transforman en ADA y H_2O_2 . En ambas vías (catalizada y no catalizada) el ADA se transforma y luego de sufrir hidrólisis, da lugar a la apertura del anillo lactona, resultando el DCG.

El mecanismo de la degradación anaeróbica implica una rotura directa del puente 1,4 de la lactona sin previa oxidación a ADA, quizás siguiendo el modelo de tauterización enol-ceto. Bajo estas condiciones anaeróbicas, el AA reacciona mediante su ceto-tautómero (AH_2 -ceto) el que está en equilibrio con su anión ($AH\cdot$ -ceto) sufriendo la deslactonización a DCG. Independientemente de la vía degradativa, la apertura del anillo lactona, formación de DCG, elimina irreversiblemente la actividad de la vitamina C generando distintos productos: a) intermediarios polimerizados, b) ácidos carboxílicos insaturados de 5-6 carbonos, y c) productos de fragmentación de algunos pocos carbonos (<5 C).

Los productos terminales de la degradación del AA adquieren importancia debido a su participación en el pardeamiento no enzimático o Reacción de Maillard. Esta reacción química ocurre entre azúcares no reductores, compuestos dicarbonílicos, o productos de degradación del AA con proteínas (Fennema, 2000). La interacción entre grupos aldehídos y aminos genera bases de Schiff inestables que se transforman en los compuestos de Amadori, los cuales sufren luego una serie de reacciones a través de los intermediarios dicarbonílicos para formar los llamados productos finales de glicación avanzada (AGEs). (Horacio & Thamara, 2007).



Figura N°05. Esquema general de los productos de la degradación oxidativa del AA. (AA: ácido ascórbico, AH⁻: monoanión ascorbato, ADA: ácido dehidroascórbico, DCG: ácido 2,3-dicetogulónico).

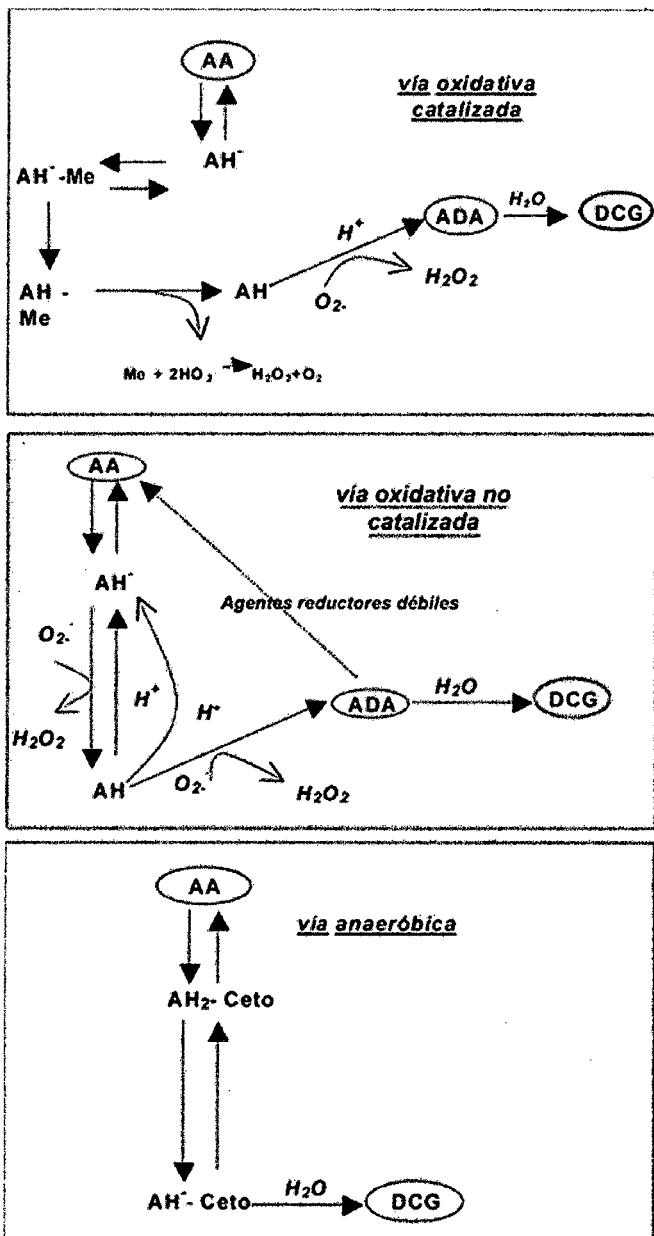


Figura N°06. Esquema de las vías de degradación oxidativa del ácido ascórbico. (AA: ácido ascórbico, AH⁻: monoanión ascorbato, AH[·]: radical anión ascorbato, ADA: ácido dehidroascórbico, DCG: ácido 2,3-dicetogulónico, Me: metales, AH₂-Ceto: cetotautómero, AH⁻-Ceto: anión ceto).

Fennema (1985) señala que el ácido ascórbico es soluble en agua, se pierde fácilmente por lixiviación en las superficies cortadas o trituradas por alimentos. Sin embargo en los alimentos elaborados, las pérdidas más importantes después de la manipulación se deben a la degradación química. En los alimentos ricos en vitamina C, como las frutas, generalmente la pérdida va asociada al pardeamiento no enzimático.

La vía exacta de degradación de la vitamina C es muy variable y depende de cada sistema. Al ser tan numerosos los factores susceptibles de influir en la degradación de ácido ascórbico, resulta imposible establecer relaciones precursores-producto claramente definidas, salvo para los primeros productos de reacción (Manayay, 1992).

Coultate (1985) citado por Manayay (1992), refiere que en presencia de aire la degradación de la vitamina C tiene lugar, principalmente por la formación de ácido deshidroascórbico (DHAA), menos estable. El DHAA, una vez formado, experimenta una serie de reacciones irreversibles de apertura del anillo que conducen a la formación del ácido dicetogulónico (DKGA), el cual no presenta actividad vitamínica.



También manifiesta que la oxidación es bastante rápida a elevadas temperaturas, incluso en ausencia del catalizador. La formación de DKGA es prácticamente instantánea a pH alcalino, rápida a pH neutro y lenta en condiciones ácidas. Asimismo, reporta que en la elaboración de zumos de fruta la acidez asegura la estabilidad de la vitamina C. Dicha estabilidad aumenta por la presencia de citrato y de flavonoides ya que en estos forman complejos con los cationes metálicos, pero es necesario mantener los zumos tan desaireados como sea posible. A temperaturas elevadas y en condiciones anaeróbicas, el ácido ascórbico también experimenta una degradación por una vía similar a la del resto de los azúcares, excepto en que se forma CO₂.

Estabilidad de la Vitamina C en los alimentos

Fennema (1993) reporta que las reacciones de oxidación de la vitamina C se aceleran por el calor, los álcalis, la presencia de algunos metales como el cobre y el hierro y la acción de la luz, sobre todo en presencia de riboflavina. Es estable a pH ácidos, y en ausencia de oxígeno resiste temperaturas de esterilización.

Badui (1985) menciona que de todas las vitaminas, la C es la más lábil e inestable, y puede ser degradada a través de muchas vías: las de oxidación y degradación térmica son las más importantes. Debido a la alta sensibilidad de la vitamina C al calor, algunos investigadores propusieron usar el contenido residual de esta vitamina como índice de retención de nutrientes; se considera, que si el ácido ascórbico resiste los tratamientos térmicos durante el procesamiento de alimentos, todos los demás nutrimentos serán poco afectados.

Por lo general la estabilidad del ácido ascórbico aumenta a medida que disminuye la temperatura del alimento. Diversas investigaciones han señalado la posibilidad de que se produzca pérdida acelerada por congelación o almacenamiento en frío (Fennema, 1993).

Kirk et al. (1971) citado por Badui (1984), estudiaron la destrucción del ácido ascórbico en un sistema modelo de alimento deshidratado y encontraron lo siguiente:

- a. La estabilidad del ácido ascórbico está en función de la actividad del agua y temperatura, y su destrucción sigue una cinética de primer orden bajo muchas condiciones de almacenamiento.
- b. La estabilidad del ácido dehidroascórbico se reduce a temperaturas y actividades de agua mayores de 20°C y 0,24, respectivamente.
- c. En los sistemas de multivitaminas, el ácido ascórbico se destruye fácilmente cuando se almacena con oxígeno.
- d. Las constantes de la velocidad de destrucción del ácido ascórbico indican que el oxígeno disuelto es el factor primario en la estabilidad

de esta vitamina a pH neutro, en productos deshidratados y alimentos de humedad intermedia.

La humedad tiene gran influencia en la estabilidad del ácido ascórbico, aunque, por lo visto, su degradación incluso se desarrolla con muy bajos contenidos de humedad, sin embargo la variación es más lenta, lo suficiente para que el almacenamiento prolongado no suponga pérdidas excesivas de ascorbato (Fennema, 1993).

Fennema (1993) señala también que, aunque, por lo general, la estabilidad del ácido ascórbico aumenta a medida que disminuye la temperatura del alimento, diversas investigaciones han señalado la posibilidad de que se produzca pérdida acelerada por congelación o almacenamiento en frío. Se ha demostrado que esto es improbable para la mayoría de los alimentos, aunque temperaturas de almacenamiento superiores a -18°C pueden, finalmente, ocasionar considerables pérdidas. Braverman (1980) reporta que los grandes cambios, especialmente en color y sabor, que tiene lugar durante el almacenamiento de las frutas y hortalizas corren paralelos con la disminución progresiva del ácido ascórbico que poseen. Por ejemplo, el oscurecimiento de los jugos cítricos durante el almacenamiento se ha visto que se produce después que todo el ácido ascórbico ha sido irreversiblemente oxidado.

2.1.6.3. Propiedades Organolépticas.

En Perú, se ha conformado Comités con especialistas representantes de instituciones gubernamentales y privadas con el fin de emitir las normas técnicas, que regulen las pautas a seguir por agricultores y empresarios dedicados al rubro del camu camu (Rengifo, 2009).

En el Cuadro N°05 se muestran las propiedades organolépticas para los frutos de camu camu, donde según la Norma técnica NTP011.0302007 (2007) nos indican tres parámetros para los análisis organolépticos (color de la cáscara, aspecto del mesocarpio y sabor), sin embargo este reporte realiza una mezcla de los parámetros entre la cáscara y

el mesocarpio. En la norma técnica NTP011.0312007, (2007), para pulpa, hay una falta de especificación en cuanto a las características de esta, en relación a los parámetros (Rengifo, 2009).

El trabajo realizado por Ramos *et al.* (2002), constituye el trabajo más completo, porque se estudiaron los frutos de acuerdo a los estados de maduración (verde, verde-pintón, pintón-maduro, maduro, extra maduro), y se determina que los frutos maduros son los que presentan las mejores características organolépticas.

Cuadro N 05°: Propiedades organolépticas de frutos de camu camu.

N°	Parámetros	Características	Referencias
01	<p>Inmaduro</p> <ul style="list-style-type: none"> - Color de la cáscara - Aspecto del mesocarpio - Sabor <p>Verde pintón</p> <ul style="list-style-type: none"> - Color de la cáscara - Aspecto del mesocarpio - Sabor <p>Pintón-maduro</p> <ul style="list-style-type: none"> - Color de la cáscara - Aspecto del mesocarpio - Sabor <p>Maduro</p> <ul style="list-style-type: none"> - Color de la cáscara - Aspecto del mesocarpio - Sabor 	<p>Verde Incoloro traslúcido Fuertemente ácido</p> <p>Predominio del verde sobre el rojo. Incoloro traslúcido. Ácido.</p> <p>Predominio del rojo sobre el verde. Incoloro traslúcido. Ácido.</p> <p>Rojo. Incoloro traslúcido. Agridulce.</p>	<p>Norma técnica Peruana – NTP011.0302007, (2007).</p>
02	<ul style="list-style-type: none"> - Olor - Sabor - Color 	<p>Característico Ácido Rosado característico</p>	<p>Norma Técnica Peruana – NTP011.0312007, (2007).</p>
03	<ul style="list-style-type: none"> - Aroma - Color - Sabor - Consistencia 	<p>Característico Rosado a rosado intenso Ácido Líquido denso</p>	<p>Productores comercializadores de camu camu -Pucallpa, En: Ramos <i>et al.</i> (2002).</p>

Continúa...

04	<p>Verde</p> <ul style="list-style-type: none"> - Color de la pulpa - Sabor - Aroma - Consistencia <p>Verde – pintón</p> <ul style="list-style-type: none"> - Color de la pulpa - Sabor - Aroma - Consistencia <p>Pintón - maduro</p> <ul style="list-style-type: none"> - Color de la pulpa - Sabor - Aroma - Consistencia <p>Maduro</p> <ul style="list-style-type: none"> - Color de la pulpa - Sabor - Aroma - Consistencia <p>Extra maduro</p> <ul style="list-style-type: none"> - Color de la pulpa - Sabor - Aroma - Consistencia 	<p>Crema Acidez alta Agradable Densa</p> <p>Rosado pálido Acidez alta Característico Densa</p> <p>Rosado Acidez alta Característico Densa</p> <p>Rosado intenso/fucsia Acidez agradable Característico Densa</p> <p>Rojo Acidez + algo dulce Aromático – agradable Menos densa</p>	Ramos <i>et al.</i> (2002).
----	--	--	--------------------------------

Fuente: Rengifo (2009)

2.1.6.4. Análisis Físico Química.

Como se puede observar en el cuadro N°06 la norma técnica de NTP011.0312007 (2007), presenta los parámetros fisicoquímicos para pulpa (sin especificar estado de madurez) de camu camu, expresando que tiene un pH ácido, bajo contenido de sólidos totales y alto contenido de acidez total. (Rengifo, 2009)

Asimismo los estudios realizados en Perú, indican que el pH, los grados brix y la acidez en pulpa, no difiere en los rangos de la Norma mencionada.

Trabajos realizados en Brasil como los de Maeda *et al.* (2006) y Alves *et al.* (2002), reportan resultados parecidos entre sí tanto para pH como para los °Brix, comparados con los reportes de Perú. (Rengifo, 2009).

Cuadro N°06: Parámetros fisicoquímicos para la pulpa de camu camu.

N°	Parámetros	Características	Referencias
01	- pH - °Brix - Acidez total	2,3 – 3,0 5,0 – 6,5 2,3 – 4,3	Norma Técnica Peruana – NTP011.0312007, (2007).
02	- pH - °Brix - Acidez	2,64±0,01 6,20±0,00 3,40±0,00	Maeda <i>et al.</i> (2006)
03	- Acidez cítrica %p/v - pH - °Brix - Temperatura	2,50 – 3,25 2,35 – 2,55 6,00 – 6,50 menor de 25°C	Ramos <i>et al.</i> (2002).
04	Predominantemente verde - Brix - pH - Azúcares totales Predominantemente púrpura - °Brix - pH - Azúcares totales	 6,40 2,51 1,28 6,36 2,54 1,48	Alves <i>et al.</i> (2002).

Continúa...

05	Inmaduro			Zapata & Dufour, (1993)
	- pH		2,44	
	- °Brix		1,026	
	- Acidez (ácido cítrico)		35,5	
	Parcialmente maduro			
	- pH		2,53	
	- °Brix		5,5	
	- Acidez (ácido cítrico)		30,7	
	Maduro			
- pH		2,56		
- °Brix		6,8		
- Acidez (ácido cítrico)		30,8		

Fuente: Rengifo (2009)

2.1.7. Pulpa de camu camu.

La pulpa de camu camu es la parte más importante del fruto porque es primordialmente aquello lo que se utiliza para procesos de industrialización; en el Cuadro N°07 se puede observar algunas características organolépticas de la pulpa obtenida de diferentes estados de madurez del fruto (Ramos, 2002); asimismo en el Cuadro N°08 se presenta algunos parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de la pulpa de camu camu para exportación.

Cuadro N°07: Características organolépticas de pulpa de camu camu de acuerdo al estado de madurez del fruto.

N°	Estado	Color de la pulpa	Sabor	Aroma	Consistencia
1	Verde	Crema	Acidez alta	Agradable	Densa
2	Verde-Pintón	Rosado pálida	Acidez alta	Característico	Densa
3	Pintón-Maduro	Rosado	Acidez alta	Característico	Densa
4	Maduro	Rosado intenso/ Fucsia	Acidez agradable	Característico	Densa
5	Extra maduro	Rojo	Acidez + algo dulce	Aromático-agradable	Menos densa

Fuente: Ramos, 2002

Cuadro N°08: Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de pulpa de camu camu para exportación.

Parámetros	Norma
Características Organolépticas	
• Aroma	Característico
• Color	Rosado a rosado intenso
• Sabor	Ácido
• Consistencia	Líquido denso
Análisis Fisicoquímico	
• Ácido ascórbico (mg/ 100g de pulpa)	Igual o mayor a 1800
• Acidez Cítrica % p/v	2,50 – 3,25
• Ácido Cítrico (mg/100g de pulpa)	800 a 1700
• pH	2,35 – 2,55
• °Brix	6,0 – 6,5
• Temperatura	Menor de 25°C
Análisis Microbiológico	
• Recuento Total de gérmenes Aerobios Mesófilos UFC/ml	0
• Hongos y Levaduras ufc/ml	0
• Coliformes Totales ufc/ml	0
• <i>E. coli</i> ufc/ml	0

Fuente: Productores y comercializadores de camu camu (2002) – Pucallpa; citado por Ramos, 2002.

2.1.8. Pulpa deshidratada (Liofilizada).

Llamamos pulpa deshidratada a la pulpa de camu camu que ha pasado por un proceso de secado por liofilización.

2.1.8.1. Características generales de la pulpa deshidratada

Según Montes (2002), las características de la pulpa deshidrata de camu camu se presentan a continuación:

- Aspecto : Polvo Fino
- Color : Rojo
- Solubilidad : Soluble en Agua
- Olor y Sabor : Característico de la fruta.

2.1.8.2. Características químicas de la pulpa deshidratada

Las características químicas del camu camu en polvo según Sotomayor (2000) se presentan en el cuadro N°09.

Cuadro N°09: Composición química del camu camu liofilizado

Componente	Base Húmeda %	Base seca %	Componente	Proporción
Humedad	5,20	5,49	pH	3,00
Proteína	8,60	9,08	Acidez (% Ac. Cítrico)	25,55
Grasa	0,69	0,73	Vitamina C (mg/100g)	18 145,13
Ceniza	2,57	2,66	Azúcares reductores (%)	27,32
Fibra	2,72	2,71		
Carbohidratos	80,42	84,90		

Fuente: Sotomayor, 2000.

2.1.8.3. Características microbiológicas para productos liofilizados

En el cuadro N°10 se presenta los requisitos microbiológicos de acuerdo a la Resolución Ministerial N°591-2008/MINSA-DIGESA existentes para frutas liofilizadas.

Cuadro N°10: Requisitos microbiológicos para Frutas y Hortalizas desecadas, deshidratadas o liofilizadas.

Agente microbiano	Categoría	Clase	n	c	Límite por g	
					m	M
Mohos	2	3	5	2	10 ²	10 ³
Levaduras	2	3	5	2	10 ²	10 ³
<i>Echerichia coli.</i>	5	3	5	2	10	5 x 10 ²
<i>Salmonella sp.</i>	10	2	5	0	Ausencia/ 25g	...

Fuente: Norma sanitaria que establece los criterios microbiológicos de calidad sanitaria e inocuidad para los alimentos y bebidas de consumo humano – MINSA/DIGESA, 2008.

2.2. Liofilización

2.2.1. Fundamentos de la Liofilización

La liofilización es una modalidad de secado que consiste en la eliminación del agua por sublimación de la misma. Se debe de trabajar a una presión y temperatura por debajo del punto triple del agua: $T < 0,0099^{\circ}\text{C}$ y $P < 610,5 \text{ Pa}$, si en estas condiciones se aporta el calor latente de sublimación correspondiente a unos $2,84 \text{ MJ/kg}$ el hielo se transforma directamente en vapor.

El proceso de liofilización consta de tres etapas:

- 1.- *Congelación previa*, se separa el agua de los componentes hidratados del producto, por la formación de cristales de hielo o mezclas eutécticas.
- 2.- *Sublimación* de los cristales formados, eliminando el agua del seno del producto, trabajando a presión y temperatura por debajo del punto triple y aportando el calor latente de sublimación. Esta etapa tiene lugar en el liofilizador.
- 3.- *Evaporación o desorción* del agua que queda todavía adsorbida en el interior del producto. Es decir, una vez sublimado todo el hielo, todavía queda cierta agua retenida en el alimento, (agua ligada) para eliminarla se aumenta la temperatura del liofilizador manteniendo el vacío lo cual favorece su evaporación, o bien el producto es llevado a un secadero.

Durante la liofilización suceden dos procesos:

- Transferencia de vapor de agua desde el frente de hielo a través de la capa seca hasta la zona calefactora por difusión.
- Transmisión del calor desde la zona calefactora a la superficie del hielo a través de la capa seca o liofilizada por conducción.

Por lo tanto hay una transferencia simultánea de calor y de masa.

Durante la etapa de liofilización coexisten dos capas bien diferenciadas en el producto sometido a secado:

- Una capa congelada y con toda el agua inicial presente, y
- otra, ya deshidratada y separada de la anterior por la denominada superficie de sublimación del hielo. Esta superficie no está perfectamente definida, sino que es un frente difuso de sublimación.

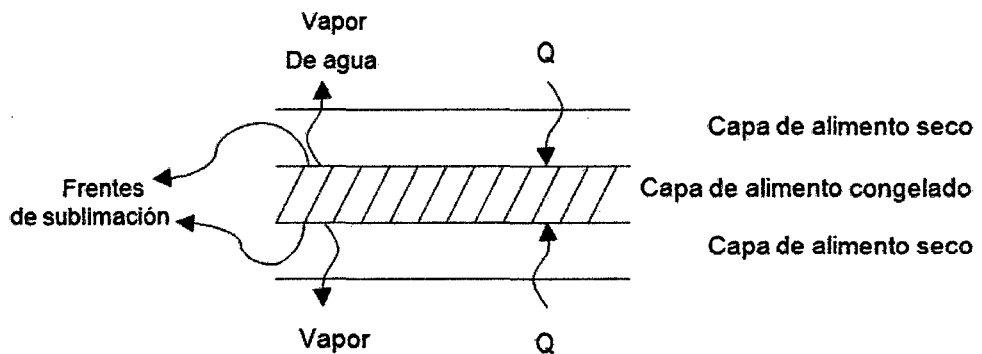


Figura N°07: Superficie de Sublimación del hielo

La velocidad de transferencia de vapor a través de la capa liofilizada cumple la ley de Darcy, es decir la velocidad de flujo es directamente proporcional a la caída de presión:

Donde,

$$\frac{dx}{dt} = b \cdot A \cdot \frac{(P_i - P_s)}{e} \dots \text{Ecuación N°01}$$

dónde:

dx/dt : es el flujo másico de vapor a través de la capa seca (kg vapor/s)

b : es la permeabilidad de la capa de alimento seco con respecto al transporte de vapor (kg/m·s·Pa),

P_i es la presión de vapor en el frente de sublimación (Pa).

P_s : es la presión de vapor de agua en la superficie de la capa seca (Pa).

e : es el espesor de la capa seca (m).

A : es el área efectiva de sublimación (m²)

Por otra parte la velocidad de transferencia de calor es:

$$\frac{dQ}{dt} = K_d \cdot A \cdot \frac{(T_s - T_i)}{e} \dots \text{Ecuación N°02}$$

dónde,

e , espesor de la capa seca (m)

K_d conductividad térmica de la capa seca (J/s·m·K)

T_s es la temperatura de la superficie de la capa seca (°C)

T_i es la temperatura del hielo en el frente de sublimación (°C).

En condiciones de estado estacionario:

$$\left(\begin{array}{c} \text{Velocidad} \\ \text{transmisión del calor} \\ \text{por conducción} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} \text{Velocidad} \\ \text{transmisión de vapor} \\ \text{por difusión} \end{array} \right)$$

$$\frac{dQ}{dt} = \lambda \cdot \frac{dx}{dt} \quad \dots \text{Ecuación N}^\circ 03$$

dónde,

$$\frac{K_d \cdot A \cdot (T_s - T_i)}{e} = \lambda \cdot \frac{A \cdot b \cdot (P_i - P_s)}{e} \quad \dots \text{Ecuación N}^\circ 04$$

Obteniéndose una expresión que nos relaciona ambas fuerzas impulsoras:

$$K_d \cdot (T_s - T_i) = \lambda \cdot b \cdot (P_i - P_s) \quad \dots \text{Ecuación N}^\circ 05$$

En el caso de un sólido de forma plana que se liofiliza por una de las caras, suponiendo que el contenido de humedad de la capa seca es X_e (kg agua/kg sólido seco) y que el frente de hielo retrocede formando un plano uniforme, la velocidad de desecación dx/dt es:

$$-\frac{dx}{dt} = A \cdot \rho_s \cdot \frac{de}{dt} (X_o - X_e) \quad \dots \text{Ecuación N}^\circ 06$$

dónde,

ρ_s es la densidad de sólido seco.

X_o es el contenido inicial de humedad (base seca).

Por tanto resulta:

$$-\frac{dx}{dt} = A \cdot \rho_s \cdot (X_o - X_e) \cdot \frac{de}{dt} = \frac{K_d \cdot A \cdot (T_s - T_i)}{\lambda \cdot e} = \frac{A \cdot b \cdot (P_i - P_s)}{e} \quad \dots \text{Ecuación N}^\circ 07$$

integrando la segunda y tercera ecuación:

$$t=0 \rightarrow e=0;$$

$$t=t \rightarrow e=e,$$

obtenemos el tiempo de liofilización:

$$t = \frac{\lambda \cdot \rho_s \cdot (X_o - X_e) \cdot e^2}{2 \cdot K_d \cdot (T_s - T_i)} \quad \dots \text{Ecuación N}^\circ 08$$

(ITESCAM, 2002)

2.2.2. Fases de la liofilización

En la Figura N° 08 se muestra las fases de la liofilización. El proceso de secado por liofilización y propiamente, inicia con la fase 1, o etapa conductiva o de deshidratación primaria. Durante esta etapa el producto se calienta y aumenta rápidamente la sublimación hasta alcanzar un punto máximo. La velocidad de extracción del agua es alta, debido a que la resistencia al transporte de calor desde la placa calefactora al material y al flujo másico de vapor sublimado al condensador es pequeña. Se remueve entre el 70 y el 90 % del agua y dura aproximadamente el 10 % del tiempo de liofilización. La sublimación ocurre cuando se suministra la energía correspondiente al calor latente medido a la presión de vacío en la cámara de secado. Cuando comienza el calentamiento, empieza a formarse un frente de sublimación con interfase entra la capa seca y la capa congelada de la muestra el cual avanza progresivamente. El mecanismo preponderante es la transferencia de calor por conducción. La transferencia de masa ocurre por la migración de vapores a través de la capa seca de la muestra bajo la acción de una diferencia de presión; esta transferencia es alta cuando la diferencia de presión es grande. El vapor de agua generado en la interfase de sublimación se elimina a través de los poros (Orrego, 2003; citado por Ceballos, 2008).



Figura N°08. Fases de la Liofilización

Durante la segunda fase o primera etapa difusiva se presenta un descenso importante de velocidad de sublimación debido a la formación de una capa porosa de material seco que opone resistencia creciente al flujo de calor y al vapor. Mientras aumenta el espesor de la capa seca crece la resistencia.

Durante esta etapa, se reduce la difusión desde la interfase de sublimación hacia la superficie del producto.

La tercera fase o segunda etapa difusiva, corresponde al periodo durante el cual se desorbe la humedad desde el interior del producto seco. La velocidad de sublimación es cada vez menor, hasta aproximarse a cero. Las fases difusivas corresponden a una evaporación a vacío; una vez que desaparece todo el hielo, el agua que queda en el producto queda como agua ligada, la cual se elimina manteniendo la misma presión de vacío que durante la sublimación, pero la temperatura del producto se eleva. Esto se debe a que el calor necesario para retirar el agua ligada es más alto que el calor de sublimación. El tiempo de desorción es aproximadamente proporcional al cuadrado del espesor del producto. En la transferencia de calor y masa se combinan la acción de la temperatura y los gradientes de presión como fuerzas impulsoras, que deben vencer las resistencias generadas por el espesor de la muestra y sus características físicas. Mientras sea más delgado el espesor, menor es la resistencia para que el flujo de calor y al paso de masa a través de la muestra. Puesto que la difusividad de los aromas disminuye sensiblemente cuando la humedad es pequeña es posible incrementar la temperatura de calefacción y del producto sin que se deteriore (Orrego, 2003; citado por Ceballos, 2008).

La máxima temperatura generalmente se fija con criterios de calidad del producto. Idealmente la temperatura de la superficie crece rápidamente hasta el nivel máximo permitido y es mantenida en este nivel por el intercambio de calor por radiación desde la placa. La temperatura de la capa de hielo está determinada por interacciones entre la temperatura de la superficie, la presión de la cámara (P_s) y propiedades de la capa seca como son la conductividad térmica (K_d) y la permeabilidad (b). Idealmente debería estar por debajo del punto de fusión eutéctico, el cual en algunos casos es de 27°C o más por debajo del punto de fusión del hielo. (Ceballos, 2008).

2.3. Agentes Coadyuvantes de Secado.

La técnica de encapsulamiento es un método común para trabajar con productos termosensibles, permite convertir materiales líquidos en sólidos o en formas pulverulentas más prácticas, protege al material activo y extiende la vida en anaquel. (Justi, *et al.*, 2000).

El material o encapsulante debe poseer las siguientes características:

- propiedad de formar películas
- baja higroscopicidad
- baja viscosidad en soluciones acuosas con altos contenidos de sólidos
- habilidad de liberar el ingrediente activo en la hidratación
- costo bajo relativo

Los materiales generalmente usados para el encapsulamiento de sabores son seleccionados a partir de los siguientes hidrocoloides (Anandaraman & Reineccius, 1980):

- Gomas vegetales: goma arábiga (acacia, goma tragacanto, goma guar, etc.)
- Almidones: incluyendo almidones modificados
- Dextrinas
- Proteínas: incluyendo gelatinas, gelatinas hidrolizadas, proteínas de soya y caseinatos
- Celulosa, ésteres y éteres (derivados de celulosa)
- Azúcares: sacarosa y dextrosa, etc.

Un estudio de encapsulantes sobre la calidad del camu camu liofilizado fue realizado por Rojas & Alegría (2005). Ellos obtuvieron mejores resultados con 1,0% de Goma Arábiga, debido a que el producto obtenido presento mayor porcentaje de Ácido Ascórbico (17128,20 mg), así como características sensoriales de sabor aceptable y color agradable, además un alto rendimiento (92,15%) y menor contenido de humedad residual (4,34%).

El producto en polvo obtenido reportó los siguientes resultados: 4,34% de humedad residual, 8,89% de proteínas, 0,71% de grasas, 2,65% de

cenizas, 2,87% de fibra, 80,54% de carbohidratos, 26,57% de azúcares reductores, acidez total de 24,98% de Ácido Cítrico, 2,9 de pH, con una retención de Vitamina C de 86,90% y un rendimiento de 92,15% en función a los sólidos totales.

2.3.1. Goma Arábica.

Este producto, también conocido como goma acacia o goma mimosa, es el exudado que se obtiene de la corteza de árboles como Acacia senegal, y otros del mismo género. Es un heteropolisacárido muy ramificado de la familia de las arabinogalactomananas, formado por una cadena principal de unidades de b-galactopiranosas a la cual se le unen residuos de L-ramnopiranosas, de L-arabinofuranosas y de ácido glucurónico; su peso molecular varía entre 300 a 800 kDa. La goma producida por árboles entre 5 y 25 años de edad es incolora, de un tamaño que va de una avellana a una nuez (normalmente de forma esférica o de lágrima), y color que va desde el amarillo claro hasta el amarillo rojizo.

En estado natural la goma arábica es una molécula compacta. La influencia de sus grupos ácidos hace que la viscosidad de sus dispersiones se vea afectada por la adición de ácidos o de álcalis, y por la presencia de cationes. Dos de sus características principales son su alta solubilidad en agua (hasta 50%) y la baja viscosidad que desarrolla; a diferencia del resto de las gomas, las soluciones de la arábica tienen un comportamiento newtoniano en concentraciones hasta de 40%, pero al incrementarse ésta, desarrolla las características pseudoplásticas de la mayoría de las gomas. (Badui, 2006)

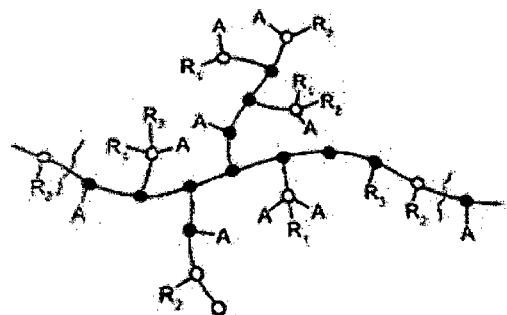


Figura N°09: Estructura de la Goma Arábica

Características y propiedades

La goma arábica comercial se presenta tradicionalmente en pedazos y granulada, pero también existe una goma acacia en polvo y otra en solución acuosa, las cuales ofrecen ventajas prácticas en la producción de emulsiones para bebidas dulces. Los ingredientes alimenticios tienen que responder a los parámetros de producción, pureza y funcionalidad para cada tipo de formulación industrial. Ambas calidades, polvo atomizado o solución acuosa, tienen una solubilidad casi instantánea en el agua (también en frío), aún a altos niveles de concentración de aproximadamente 50 %. A diferencia de otros hidrocoloides como la goma guar, algarroba o el agar, la goma acacia tiene una baja viscosidad y propiedades reológicas únicas, por ejemplo, su comportamiento "newtoniano" hasta niveles de concentración del 40 % y también su estabilidad en soluciones ácidas.

En la goma arábica se destacan sus propiedades funcionales polivalentes: agente filmogénico logrando una protección coloidal máxima, agente de encapsulación de aceites esenciales en emulsiones para bebidas, agente de suspensión, emulsionante y estabilizante en líquidos mixtos (aceite en agua, agua en aceite) dentro de una banda ácida ancha (pH). Como su habilidad emulsionante depende de su origen botánico, el suelo y el clima, es muy importante seleccionar la calidad debida para el uso de bebidas y emulsiones aromáticas para bebidas. La goma arábica se emplea como aditivo natural tanto para bebidas turbias como claras. Su primera función es favorecer la producción de soluciones aromáticas, bases liposolubles, concentrados para bebidas y emulsiones de todo tipo, logrando una estabilidad perfecta de todos los ingredientes.

En el caso de aromas en polvo atomizados, la goma acacia actúa como agente "doble", estabilizando la emulsión mientras encapsula las gotas de aroma, impidiendo así la oxidación del aceite esencial en el producto acabado. Así es posible conservar un producto líquido estable en almacenamiento y mejorar su vida de anaquel. Esta misma función de

protección coloidal se aplica a los colorantes para bebidas, como por ejemplo el betacaroteno.

Los resultados logrados con la goma arábica en bebidas turbias son excelentes. En el caso de bebidas lácteas aromatizadas, la goma acacia estabiliza las partículas aromáticas en la leche, impidiendo su precipitación al fondo, lo que favorece una estructura homogénea y una sensación agradable en la boca. La goma arábica tiene un olor y un sabor totalmente neutros, lo que permite una liberación perfecta del aroma propio de las emulsiones o de los aromas en polvo atomizada.

Nutricionalmente beneficiosa

La goma arábica es un producto 100% vegetal y natural, sin OGM, clasificada como aditivo alimenticio en la lista de aditivos permitidos en Europa, sin valor ADI (Consumo Diario Aceptable), es decir sin limitaciones cuantitativas de ingestión. También cuenta con la aprobación de la organización estadounidense FDA.

Como se mencionó anteriormente, la goma acacia tiene una gran ventaja en la lucha internacional contra la obesidad, al aportar solamente 1,5 kcal /g. Se considera como aditivo no cariogénico debido a su bajo contenido de carbohidratos. Al contrario, la goma acacia es muy rica en fibras vegetales y solubles en agua (85% según el método AOAC), lo que se añade a su valor nutritivo y funcional que contribuye a una alimentación equilibrada en el consumo de alimentos líquidos.

El uso sencillo, rápido y económico de la goma arábica en polvo purificado y atomizado permite reducir los tiempos de producción y consumo de energía mientras mejora el valor nutricional del producto terminado. Se integra a cualquier tipo de producción industrial. En el sector de alimentos líquidos hablamos de bebidas dulces, refrescantes, concentrados, aromas para bebidas, emulsiones, bebidas dulces con alcohol, funcionales, para deportistas, lácteas, dietéticas o "Light", o sea hipocalóricas.

El poder funcional

La pregunta clave que surge al estudiar las nuevas innovaciones y desafíos en la tecnología de las gomas la formuló Allen Freed, presidente de Gum Technology Corporation, de Tucson, Arizona. “La pregunta realmente es ¿cuáles han sido los mayores desafíos que enfrentan los equipos de desarrollo de productos cuando formulan sin espesantes ni gomas?”, comenta Freed. La respuesta es sencilla: a nivel mundial los alimentos refrigerados y congelados estarían perdidos sin las gomas, también conocidas como hidrocoloides, emulsificantes o espesantes. Las gomas elaboradas a partir de una gran variedad de fuentes y técnicas son ingredientes clave en la mayoría de las formulaciones de productos. “Las gomas ayudan a reducir el tamaño de los cristales de hielo y mejoran las cualidades de congelación/descongelación de los alimentos” dice Freed. Además tienen la habilidad de cambiar la reología y la textura del producto.

Hoy en día, las gomas se utilizan no solamente para mantener la textura y la estabilidad en congelación/descongelación sino también para la formulación de productos orgánicos y completamente naturales. También sirven como fortificantes y sustitutos de grasa.

2.4. Reacciones de deterioro de los productos liofilizados.

Las reacciones deteriorativas que ocurren durante la liofilización y el almacenamiento de los productos liofilizados son muchas. Algunas de estas reacciones fueron identificadas y comprendidas y otros que causan pérdidas de color y textura aún no son bien identificadas.

2.4.1. Oxidación de lípidos

La oxidación de lípidos o grasas, es una reacción de deterioro que es particularmente sobresaliente para alimentos liofilizados debido a la gran área de superficie de los materiales liofilizados y por los bajos contenidos de humedad de los alimentos liofilizados. Se da la reacción entre el oxígeno y las sustancias lipídicas (lípidos primarios como el ácido linoleico)

de los productos liofilizados. Debido a lo anterior es necesario un completo levantamiento del oxígeno antes del envasado y el uso de envases con materiales impermeables al oxígeno. Labuza et al. (1972) afirma que el efecto del agua es inhibir la oxidación lipídica al desactivar los metales que catalizan la reacción, además el agua forma enlaces de hidrogeno con hidroperóxidos, previniendo su entrada en la reacciones de iniciación.

2.4.2. Pardeamiento no enzimático

Los carbohidratos constituyentes de los jugos de fruta, en la liofilización son sometidos a altas temperaturas sufren en consecuencia una reacción de decoloración dando productos pardeados. Los carbohidratos de bajo peso molecular y el ácido ascórbico son particularmente susceptibles al daño por calor dando una decoloración. Debe ejercerse un cuidado adicional en los procesos de liofilización especialmente en la fase de desorción cuando la temperatura del producto se eleva hasta la temperatura de placa. Esta reacción además de causar el cambio de color del producto, produce una pérdida de sabor y una disminución del valor nutricional (lisina y ácido ascórbico).

2.4.3. Pérdida de Rehidratación

La proporción de rehidratación es un simple test para el daño físico para un alimento durante la liofilización, consiste en empapar el producto liofilizado en agua a la temperatura ambiente en un tiempo determinado para luego pesarlo. Una pobre rehidratación refleja distorsión de la muestra y una desnaturalización de las proteínas (King, 1971). Flink y Karel (1972) afirmaron que el incremento de las temperaturas de superficie exterior (temperatura de zona congelada) disminuye la rehidratación del filete de bacalao liofilizado.

2.4.4. Pardeamiento enzimático

Las reacciones enzimáticas en los alimentos liofilizados y durante los procesos de secado, actúan de manera más rápida cuando el contenido de agua es alto, y uno de los beneficios de los alimentos liofilizados es la

supresión de la actividad enzimática mientras el alimento está en el estado seco. Una cantidad significativa de reacción enzimática puede ocurrir en el estado congelado, aunque las reacciones en el estado no congelado son usualmente mayores (Acker, 1961).

2.4.5. Cambios en el color

Los cambios de color pueden venir de un número de reacciones en adición a los cambios obvios de color en las reacciones de pardeamiento enzimático y no enzimático. Para la liofilización de café se ha encontrado que las condiciones de congelación y liofilización afectaran el color del producto final. La congelación lenta produce morfologías del producto liofilizado que son percibidos como un color oscuro, mientras que la congelación rápida tiende a producir colores claros. La liofilización sobre las temperaturas de colapso conduce a cambios en la morfología del producto y una apariencia oscura (Goldblith et al., 1975).

2.5. Superficie de Respuesta

La Metodología de Superficie de Respuesta (MSR), es un conjunto de herramientas estadísticas y matemáticas, utilizadas para optimizar una variable de respuesta sujeta a varias variables predictoras. La MSR, se utiliza cuando las relaciones entre las variables, no son completamente entendidas como para representarlas de manera directa a través de un modelo matemático exacto, sino que es necesario construir un modelo empírico para aproximar su comportamiento. Para aproximar este comportamiento, la MSR utiliza generalmente un diseño factorial fraccionado de resolución III para determinar la subregión de las variables predictoras para la cual la variable de respuesta presenta un óptimo. Esta subregión es alcanzada a través del ajuste de un modelo polinomial de primer orden a este diseño, ajustado por Mínimos Cuadrados (MC) y la aplicación iterativa del método de ascenso acelerado (Box y Draper, 1987; Citado por Piña, 2006).

III. MATERIALES Y MÉTODOS.

3.1. Lugar y fecha 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 (*Myrciaria dubia* HBK) fueron obtenidos de la zona Alto Mohena en el Distrito de Yurimaguas, Provincia de Alto Amazonas, Departamento de Loreto, con una altura de 106 m.s.n.m. del tipo Arbustivo (Altura: 6 metros aproximadamente), en un estado de pintón-maduro o el llamado media luna.

3.3. Equipos y Materiales de Laboratorio.

3.3.1. Equipos del laboratorio.

- Liofilizador LABCONCO, modelo 7934042. Capacidad 6 L.
- Colorímetro triestímulo portátil (Konica Minolta, modelo CR-400).
- Balanza analítica (AND GH-200, capacidad 220 g, mínimo 0.001 g).
- Balanza de precisión (SATORIUS BASIC, mínimo 0.01 g)
- Extractor DURANATIONAL star, potencia 500 W.
- Licuadora manual OSTER, potencia 250 W.
- Cocina eléctrica FICHER, temperatura máxima de 600 °C.
- Estufa (MEMMERT, Modelo ED080, 1,20 KW).
- Refrigeradora-Congeladora SAMSUNG, temperatura Refrigeradora: 3 °C y Congeladora: -25 °C.
- Termómetro digital (BOECO, temperatura -50 a +70 °C).

3.3.2. Materiales.

- Pipeta digital de 5 ml.
- Matraz Erlenmeyer de 250 ml y 100 ml.
- Vasos de precipitación de 1000 ml, 500 ml y 50 ml.
- Fiolas de 100 ml y 50 ml.
- Probeta de 100 ml.
- Placas petri medianas de \varnothing 9 cm.
- Vernier (KAMASA de 20 cm).
- Campana desecadora (Cap. 2 L aprox.).
- Bureta automática de 50 ml.
- Papel aluminio.
- Papel toalla.
- Guantes de Látex.
- Piseta de plástico de 500 ml.
- Pinzas de metal.
- Tapers de polietileno (Cap. 1,27 L).
- Cernidor de plástico (1 mm aprox.).
- Moldes de acero inoxidable (11 cm de diámetro).
- Moldes de polietileno de alta densidad (6,5 cm de diámetro).
- Cuchillo de acero inoxidable.
- Cuchilla.
- Cuchara de acero inoxidable.
- Bolsas de polietileno con cierre 6 x 6 cm.
- Bolsas de polietileno 7 x 10 cm.
- Plumón permanente

3.3.3. Reactivos de laboratorio.

- 2,6 – diclorofenol-indofenol al 1 % (Marca MERCK).
- Material Aglomerante: Goma Arábica (Marca: MONTANA, F. FAB: Abril-2013).
- Ácido Ascórbico (Marca MERCK).
- Ácido Oxálico (Marca MERCK).

3.4. Metodología.

El flujo de operaciones para obtención de pulpa de camu camu liofilizada se desarrolló de acuerdo al esquema experimental presentado en la Figura N°11. A continuación se describen las operaciones.

3.4.1. Obtención de materia prima

Los frutos de camu camu (*Myrciaria dubia* HBK) se recolectaron en un estado pintón-maduro, con apariencia firme, color característico (50–75 % color granate) y que estaban en decisión de aprobación (Ramos, 2002).

3.4.2. Selección y Clasificación

Los frutos de camu camu (*Myrciaria dubia* HBK.) fueron seleccionados y clasificados según su estado de madurez: pintón-maduro y además se apartaron los que se encontraban en malas condiciones, separando así alguna fruta partida, rajada, molida y fermentada por excesiva madurez o dañada durante el transporte, además de las hojas, tallos y otras materias extrañas (Ramos, 2002).

3.4.3. Caracterización Físico-Química de la Materia Prima

Se tomaron 20 muestras de las cuales se promediaron y se determinó sus características físicas: diámetro transversal, longitudinal, peso y volumen (Torres, 2010); y químicas: acidez (ácido cítrico), pH, sólidos solubles (°Brix) y humedad (A.O.A.C., 2000).

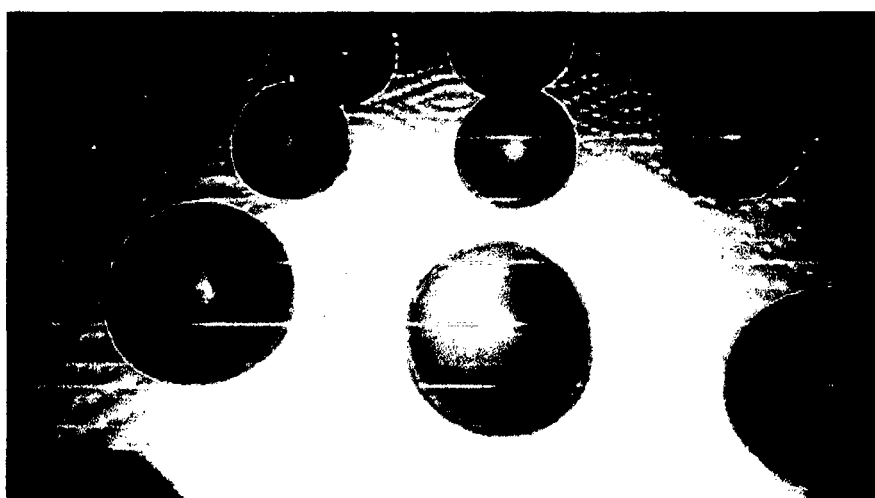


Figura N°10: Frutos de camu camu en estado Pintón-maduro.

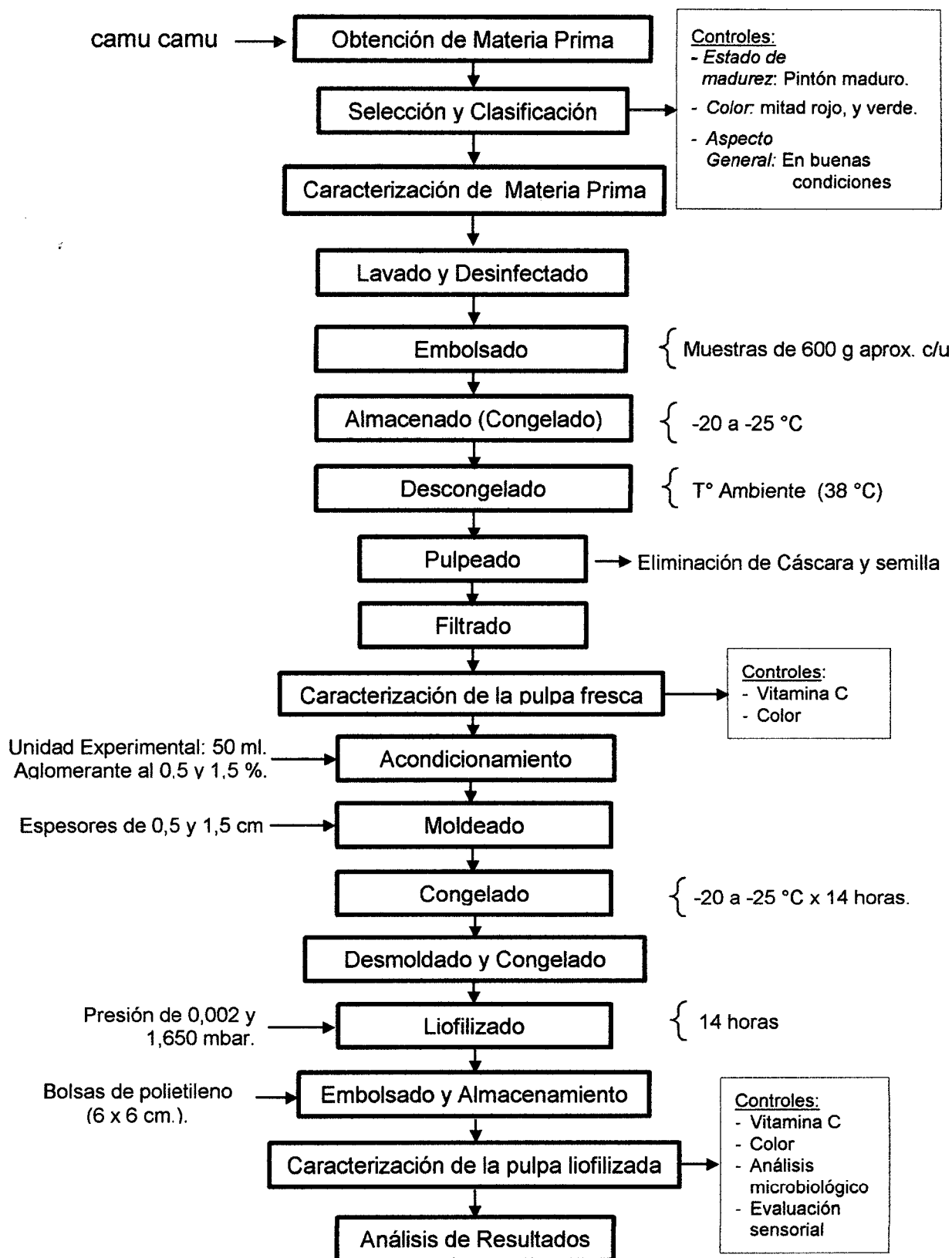


Figura N°11: Flujograma para la obtención de pulpa de camu camu liofilizada.
Fuente: Elaboración Propia (2015).

3.4.4. Lavado y Desinfectado

Se realizó el lavado de los frutos con agua potable para eliminar residuos indeseables que contienen 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).

3.4.5. Embolsado

El embolsado se procedió a realizar pesando 600 g aproximadamente del fruto ya seleccionado y lavado en bolsas de polietileno de 7 x 10 cm c/u.; esto se realizó para evitar la contaminación cruzada y poder utilizar cada muestra en su determinado día de proceso experimental.

3.4.6. Almacenado (Congelado)

Se almacenaron las muestras en el congelador a una temperatura de -20 a -25 °C y fueron utilizadas de acuerdo al día de experimentación planeado (Vega, 2005).

3.4.7. Descongelado

Esta operación se realiza retirando el fruto de la bolsa y exponiéndolo al aire libre, a T° ambiente (38 °C aproximadamente) hasta que el fruto de descongele por completo (Vega, 2005).

3.4.8. Pulpeado

Para la obtención de la pulpa, la fruta descongelada fue cortada por la mitad para retirar la semilla, y en seguida fue despulpada mediante una pulpeadora (extractor) doméstica, donde se obtuvo la pulpa y el residuo; cabe recalcar que para obtener un buen rendimiento, el mismo lote de muestra diario se despulpa 4 veces de la misma manera para no obtener desperdicio de pulpa (Salas *et. al.*, 2009).

a. Rendimiento de Pulpa

Se determinó el rendimiento de pulpa fresca para ello se pesaron la cantidad de fruto y cantidad de pulpa obtenida (Rojas & Alegría, 2005).



3.4.9. Filtrado

El filtrado de la pulpa se realizó con ayuda de un colador de plástico (Salas *et. al.*, 2009).

3.4.10. Caracterización de la pulpa fresca

Se separó 50 ml de pulpa de camu camu para realizar los análisis respectivos de las características de calidad relevantes (Vitamina C, color y olor); donde cada análisis se realizó por duplicado y triplicado.

a. Determinación de la vitamina C.

La cuantificación del ácido ascórbico (vitamina C), se efectuó mediante titulación con 2,6-diclorofenol indofenol al 1 %. Donde según la metodología de A.O.A.C. (1984) se hace dicha determinación relacionando los gastos del titulante de una muestra en blanco y una muestra real (pulpa de camu camu).

b. Determinación del color.

El procedimiento para medir color consistió en colocar el equipo (colorímetro triestímulo portátil, Minolta modelo CR-400, con iluminante D65 y un ángulo observador de 0 °C,) en contacto directo sobre la muestra de pulpa de camu camu fresca (Ver Anexo N°17). Definida el área de interés, se procedió a accionar el botón de medición, el equipo emite una luz xenón pulsante y las longitudes de onda emitidas por la muestra, son transcritas por el colorímetro a valores del espacio de color seleccionado, como L*= (-) luminosidad (+), a*= eje verde (-) a rojo (+) y b*= eje azul (-) a amarillo (+). (Minolta, 2002).

El colorímetro utilizado utiliza un sistema CIELab (Minolta, 2013). Siendo calibrado con un patrón blanco.

2.4.11. Acondicionamiento de la pulpa fresca

El aditivo (Aglomerante) se incorporó a 200 ml de pulpa de camu camu de acuerdo a los porcentajes planteados (0,5 y 1,5 %) para cada muestra

correspondiente, esto se hizo con ayuda de una licuadora manual. (Rojas & Alegría, 2005)

2.4.12. Moldeado

Con la ayuda de una probeta medimos 50 ml de pulpa de camu camu, para después colocarlo a su respectivo molde. Esto se realizó por triplicado (Hernández, 2011).

Para obtener muestras con un espesor de 0,5 cm se utilizó un molde de acero inoxidable de 11 cm de diámetro (Ver figura N°12).

Y para obtener muestras con un espesor de 1,5 cm se utilizaron tapas de mermelada de 6,5 cm de diámetro, hechas de plástico, lo cual por ello se hizo uso de papel aluminio para poder recubrir el molde y sea mejor manejable al momento del desmoldado (Ver figura N°13).

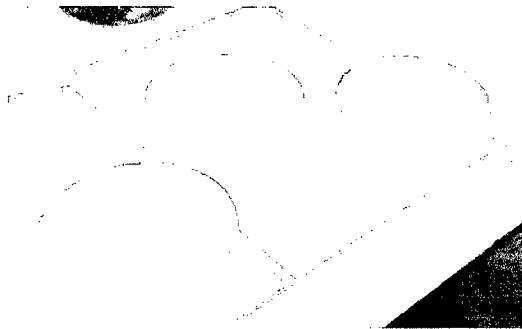


Figura N°12: Pulpa de camu camu, con 0,5 cm de espesor



Figura N°13: Pulpa de camu camu, con 1,5 cm de espesor.

2.4.13. Congelado

Para el congelado, las muestras fueron puestas en el congelador, a una temperatura de -20 a -25 °C, durante 14 horas (Parzanese, 2008).

2.4.14. Desmoldado y congelado

El desmoldado se realiza de forma manual y rápidamente para evitar el descongelamiento de las muestras (Hernández, 2011).

En el caso de muestras con espesores de 0,5 cm se utilizó una cuchilla, con la que se buscó desprender los costados de la muestra adheridos al

molde y para que puedan alcanzar en el envase del liofilizador se cortó 3 veces de forma vertical, obteniendo 3 láminas (Ver figura N°14).



Figura N°14: Pulpa congelada con 0,5 cm de espesor



Figura N°15: Pulpa congelada, con 1,5 cm de espesor

Y en el caso de muestras con espesores de 1,5 cm el desmoldado era mucho más fácil, ya que solo se daba unos golpes alrededor del molde y poco a poco se iba desprendiendo el papel aluminio del molde, y una vez obtenido ello se desprendía manualmente el papel aluminio de la muestra (Ver Figura N°15).

Las muestras una vez desmoldadas eran depositadas rápidamente en los envases del liofilizador (Ver figuras N° 14 y 15) y posteriormente eran congeladas por 60 min (Labconco, 2007).

2.4.15. Liofilizado

Este proceso se realizó en el liofilizador, donde se regularizó la presión de trabajo deseado, es decir 0,002 o 1,650 mbar dependiendo del plan de experimentación correspondiente. Con un tiempo de liofilización de 14 horas para todas las muestras (Labconco, 2007).

a. Pérdida de Peso

Se registraron los datos de la pérdida de peso de las muestras durante el tiempo de proceso (Las dos primera horas, se registró cada 30 min y posteriormente fue cada 1 hora hasta el término del secado), mediante

una balanza de precisión, de las cuales se tomaron los datos para las curvas de secado.

b. Determinación de la velocidad de secado

Con los datos experimentales de humedad y tiempo se determinó el comportamiento de la velocidad de secado para los diferentes tratamientos (Geankoplis, 1998), graficándose los valores R vs humedad promedio (Ecuación N°09):

$$R = \frac{Ls}{A} \left(\frac{\Delta x}{\Delta t} \right) \dots \text{(Ecuación N°09)}$$

R = Velocidad de secado (Kg H₂O/ h.m²)

Δx = Variación de humedad (Adimensional).

Δt = Variación de tiempo (h).

L_s = Masa de solido seco (Kg).

A = Área de superficie expuesta al secado (m²).

c. Determinación de la difusividad.

La difusividad del agua se determinó ajustando los datos experimentales de humedad vs tiempo con la Ecuación de Fick, utilizando el programa MICROCAL ORIGIN v5 (Geankoplis, 1998).

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_{\text{eff}} \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \dots \text{(Ecuación N°10)}$$

Solución de la ecuación de Fick para placa plana:

$$\frac{X - X^*}{X_0 - X^*} = \frac{X}{X_t} = \frac{8}{\pi^2} \left[e^{-D_L t \left(\frac{\pi}{2X_1} \right)^2} + \frac{1}{9} e^{-9D_L t \left(\frac{\pi}{2X_1} \right)^2} + \frac{1}{25} e^{-25D_L t \left(\frac{\pi}{2X_1} \right)^2} \right] \dots \text{(Ecuación N°11)}$$

Dónde:

X: Humedad (Kg H₂O/Kg s.s.)

X*: Humedad en el punto crítico

X₀: Humedad inicial

X₁: Espesor

D: Difusividad

T: Tiempo

2.4.16. Embolsado y almacenamiento

Una vez liofilizadas las muestras se procedió a colocarlas en su respectiva bolsa de polietileno (6 x 6 cm) codificada y se sellaron respectivamente, para después almacenarlas en una campana desecadora (Reyna & Flores, 2013).

2.4.17. Caracterización de la pulpa liofilizada

En esta etapa del proceso se procedió a realizar los siguientes análisis:

a. Determinación de la vitamina C.

La cuantificación del ácido ascórbico (vitamina C), se efectuó de la misma manera que se hizo en el análisis de la pulpa fresca, es decir según la metodología de A.O.A.C. (1984) mediante titulación con 2,6-diclorofenol indofenol al 1 %, con la diferencia que a la pulpa de camu camu liofilizada se tuvo que diluirla, es decir agregar 1 g de muestra a 200 ml de agua destilada.

b. Determinación del color.

El procedimiento para medir color fue el mismo para determinar el color en la pulpa fresca, que consistió en colocar el colorímetro triestímulo portátil en contacto directo sobre la muestra de pulpa de camu camu liofilizada (Ver Anexo N°20); donde al accionar el botón de medición, el equipo emite una luz xenón pulsante y las longitudes de onda emitidas por la muestra, son transcritas por el colorímetro a valores del espacio de color seleccionado, como L*, a* y b*. (Minolta, 2002).

c. Determinación de Índice de color.

El Índice de Color se determinó según Thompson (1998) mediante la expresión matemática:

$$IC = \frac{a^* \times 1000}{L^* \times b^*} \dots (\text{Ecuación N}^\circ 12)$$

Dónde:

a*: Zona de variación entre el verde y el rojo del espectro;

L*: Intensidad del color;

b*: Zona de variación entre el azul y el amarillo del espectro.

d. Evaluación sensorial.

Para realizar la evaluación sensorial se buscó 10 panelistas que marcaron según su preferencia en base a apariencia en general, olor y color una escala hedónica de 7 puntos (Ver Anexo 06, 07 y 08). (Hernández, 2005)

e. Análisis Microbiológico.

Se realizó un recuento en placa mediante el Número más probable (NMP), con la finalidad de determinar la Estabilidad microbiológica del producto final, principalmente para determinar la presencia de mohos, levaduras, *Echerichia coli* y *salmonella sp.* en el producto liofilizado, para luego comparar si los resultados se encuentran dentro del rango de los parámetros establecidos en base a normas legales vigentes, es decir, de acuerdo a la Norma sanitaria que establece los criterios de calidad sanitaria e inocuidad para los alimentos y bebidas de consumo humano para frutas y hortalizas desecadas, deshidratadas o liofilizadas de la Resolución Ministerial N°591-2008/MINSA-DIGESA (2008).

f. Análisis Proximal

El análisis químico proximal del camu camu liofilizado se realizó según los métodos siguientes, estos se hicieron por duplicado.

❖ Humedad.

Se determinó por el método de estufa a presión atmosférica a 105 °C hasta un peso constante por espacio de 24 horas (A.O.A.C., 2000).

❖ Proteína total

Se determinó por el método kjeldahl que consta de 3 procesos: digestión, destilación y titulación (A.O.A.C., 2000).

❖ Grasa total

Se utilizó el método de Soxhlet donde se determinó el contenido de grasa total en la muestra, extrayendo con éter dietílico como solvente (A.O.A.C., 2000).

❖ **Ceniza total**

En este método toda la materia orgánica se volatiliza, se oxida en presencia de flama que va desde los 500 °C a 600 °C, el material inorgánico que no se volatiliza a esta temperatura se conoce como ceniza (Nollet, 1996).

❖ **Carbohidratos**

Se determinó por diferencia restándose de 100 la sumatoria de los porcentajes de humedad, proteína, grasa, ceniza y fibra. (A.O.A.C., 2000).

❖ **Fibra total**

Se determinó mediante el método gravimétrico que consiste en la extracción secuencial con H₂SO₄ al 1,25 % y NaOH al 1,25 % (A.O.A.C., 2000).

2.4.18. Análisis de Resultados

Se analizaron los resultados de las muestras de camu camu liofilizado comparando sus pérdidas de sus características de calidad.

3.5. Diseño experimental y análisis estadístico

Con el fin de estudiar simultáneamente los efectos de todos los factores de interés, recolectando toda información pertinente que se pueda obtener ante un determinado problema, se utilizó El diseño experimental Completamente al Azar (DCA) con arreglo factorial de 2 x 2 x 2 con tres repeticiones; ya que es una prueba basada en el análisis de varianza; el objetivo es determinar si existe diferencia significativa entre los tratamientos, e interactuarlos de dos en dos para ver así más notoriamente la variabilidad de los resultados.

Las interacciones fueron de tres factores (a*, b* y c*), cada uno de estos con un nivel mínimo y máximo; es decir: presión de 0,002 y 1,650 mbar, espesor de 0,5 y 1,5 cm y cantidad de aglomerante de 0,5 y 1,5 %. El total de los tratamientos realizados en la experimentación fueron 8, incluyendo 3 repeticiones, haciendo un total de 24 experimentos. Los datos fueron analizados mediante análisis de varianza a un nivel de significancia del 5 % y una prueba de Tukey.

Cuadro N°11. Tratamiento del Estudio

FACTORES	Dominio Experimental	
	Nivel (-)	Nivel (+)
X₁: Presión (mbar)	0,002	1,650
X₂: Espesor (cm)	0,5	1,5
X₃: Aglomerante (%)	0,5	1,5

Fuente: Elaboración Propia (2015).

Se realizó la evaluación sensorial con escala hedónica de 7 puntos con la finalidad de determinar el mejor tratamiento en el secado por liofilización, utilizando el Diseño de Bloques Completos al Azar.

Panelistas no entrenados, posibles consumidores evaluaron los atributos de apariencia general, color y olor en los ocho tratamientos.

Los atributos de evaluación sensorial fueron representados mediante las gráficas de superficie de respuesta (Fernandez *et al.*, 2006) empleando el programa (STATISTICA V.10).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Características físicas del fruto de camu camu (*Myrciaria dubia* HBK).

Las características físicas son presentadas en el Cuadro N°12 que corresponden al promedio de 20 muestras cosechadas en estado pintón-maduro de formas redondas y achatadas; el peso promedio de los frutos recolectados alcanzaron 6,17 gramos con pesos que varían desde 3,27 a 11,79 gramos, al igual que los diámetros longitudinal de 2,10 cm. y un diámetro transversal de 2,25 cm.

Cuadro N°12: Características físicas del fruto de camu camu a partir de 20 muestras cosechadas

Característica	Cantidad
Peso Promedio (g)	6,17
Diámetro transversal Promedio (cm)	2,25
Diámetro longitudinal Promedio (cm)	2,10

Fuente: Elaboración Propia (2015).

4.2. Características químicas del fruto de camu camu (*Myrciaria dubia* HBK).

En el Cuadro N°13 se presentan los resultados de los análisis físico-químicos realizados a la pulpa de camu camu fresco en estado pintón-maduro. Donde obtuvimos 2,48 % de acidez cítrica, 2,84 de pH, 5,4 °Brix y 93,2 % de humedad; resultados que se encuentran dentro de lo aceptable por las Normas Técnicas Peruanas (2007); asimismo similares valores fueron reportados por Rojas & Alegría (2005), quienes obtuvieron 2,63 de acidez, 2,68 de pH, 6 °Brix y 93,11 % de humedad.

Cuadro N°13: Características químicas del fruto de camu camu.

Característica	Cantidad
Acidez (% ácido cítrico)	2,48
pH	2,84
Sólidos Solubles (%)	5,4
Humedad (%)	93,2

Fuente: Elaboración Propia (2015).

4.3. Rendimiento de pulpa de camu camu (*Myrciaria dubia* HBK).

En el Cuadro N°14 se presenta el rendimiento de la pulpa, donde se obtuvo un 56,32 % del peso de la fruta de camu camu, siendo superior al reportado por Huapaya (1994) de 46,58 % e inferior al indicado por Villachica (1996) de 60 a 62 %. Estas diferencias se deberían principalmente al diámetro de la malla utilizada para el pulpeado, o a los diferentes tipos de pulpeadoras utilizadas en los procesos; entre otros factores.

Cuadro N°14: Rendimiento de pulpa de camu camu

Rendimiento basado en 600g.		
	Cantidad (g)	Cantidad (%)
Cáscaras	108,6	18,10
Semillas	153,5	25,58
Pulpa	337,9	56,32
TOTAL	600,00	100,00

Fuente: Elaboración Propia (2015).

4.4. Secado por Liofilización

4.4.1. Tratamientos en el Secado (Efecto de espesor, presión y cantidad de aglomerante).

En la figura N°16 se presentan las curvas básicas de secado para los 8 tratamientos, en las cuales podemos observar que los tratamientos con espesores mínimos (0,5 cm) tienen un comportamiento más acelerado en la pérdida de humedad respecto a un determinado tiempo a diferencia de los tratamientos con espesores máximos (1,5 cm), resultado que concuerda con lo mencionado por Pino (2003) que “el espesor es importante: mientras más delgado es, hay menor resistencia para que el flujo de calor y masa pase a través de la muestra para eliminar el agua presente, por lo cual los alimentos de menor espesor permiten que se elimine la mayor cantidad de agua posible”. Y asimismo lo mencionado por Parzanese (2008) se cumple, quien nos dice que a un menor espesor la superficie en contacto es propenso a un mejor congelado y por ende el proceso de sublimación es mucho más efectivo, y esto se puede corroborar con Orrego (2003) citado por Ceballos (2008) quien nos menciona que mientras más delgado es el espesor menor es la resistencia para el flujo de calor y al paso de masa a través la muestra.

Además podemos observar que la cantidad de aglomerante no emite un efecto significativo sobre la pérdida de humedad ya que presentan el mismo comportamiento; mientras el efecto de la presión, en las curvas de los tratamientos con espesores máximos (1,5 cm), se observa que a presiones más altas (1,650 mbar) las pérdidas de humedad es más acelerada que a presiones bajas (0,002 mbar) en un determinado tiempo, comportamiento que no se observa en las curvas con los espesores mínimos (0,5 cm); lo cual nos indica que a presiones altas y bajas tienen un comportamiento similar.

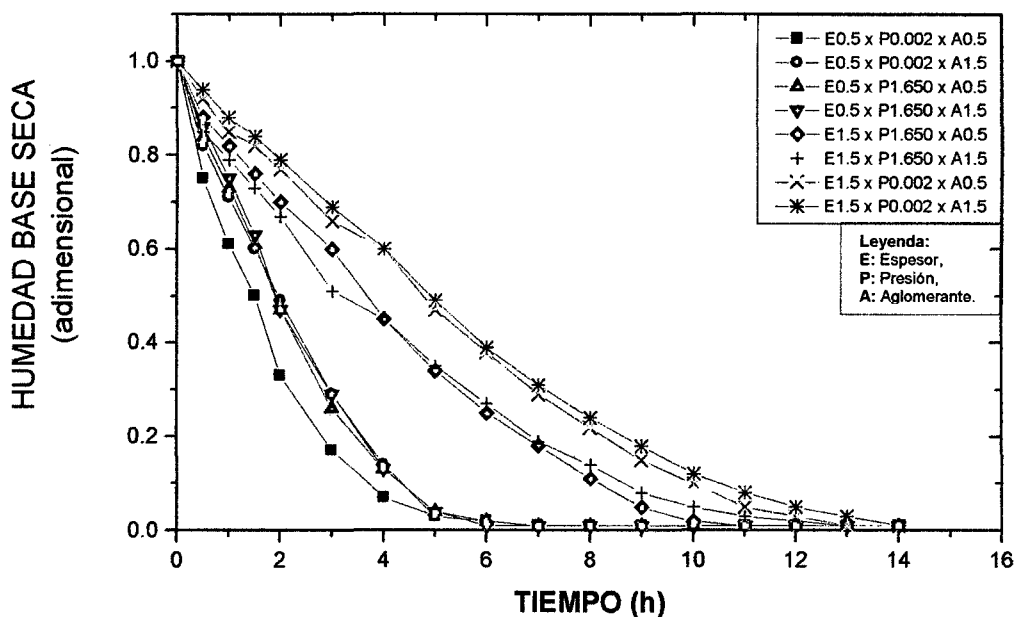


Figura N°16: Cinética de pérdida de humedad en los ocho tratamientos

Fuente: Elaboración Propia (2015).

4.4.2. Velocidad de Secado

En la figura N°17 se presenta los resultados de velocidad de secado (Ver Anexo N°11) de la pulpa de camu camu por liofilización (sublimación), donde se observa que sigue un secado predominante con velocidad descendente, ya que en alimentos generalmente no se presenta un periodo de velocidad de secado constante o es poco significativa por lo que permitiría describir el proceso de secado completo (Pérez, 2010). Este comportamiento ocurre porque durante este periodo la velocidad de transferencia de masa interna (desde él hacia el exterior) es la que usualmente controla el proceso, es decir la resistencia a la transferencia de masa externa es controlable y la presión de vapor en la superficie del sólido disminuye cuando el contenido de humedad decrece, según Waananen et al. (1993).

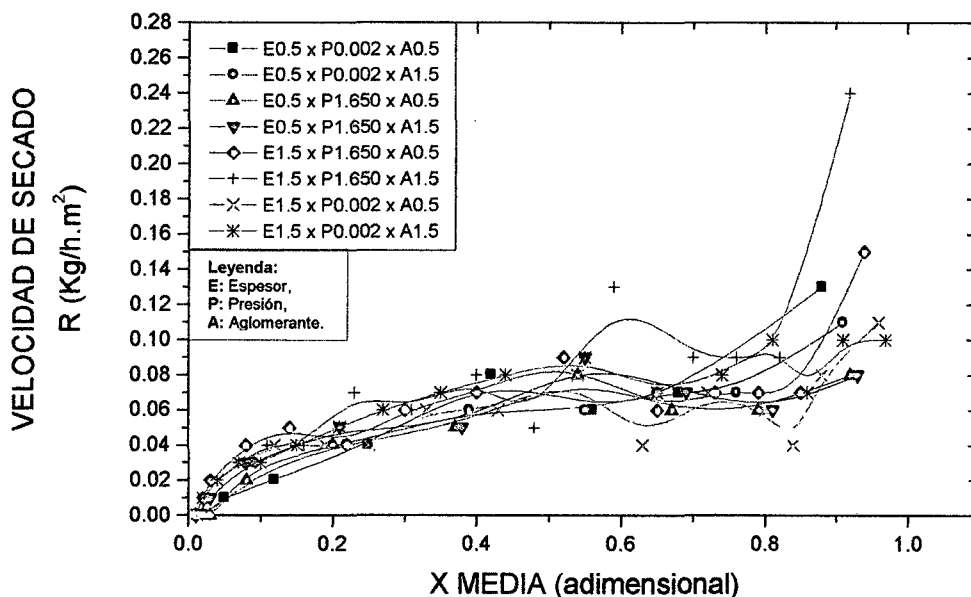


Figura N°17: Velocidad de secado en función a un espesor, presión y cantidad de Aglomerante

Fuente: Elaboración Propia (2015).

Asimismo en la Figura N°18 y 19 se visualiza mejor el comportamiento decreciente de las curvas de velocidad de secado para un espesor mínimo de 0,5 cm y máximo de 1,5 cm respectivamente, donde comparado las velocidades de secado observadas al inicio del proceso pueden ser explicadas invocando un mecanismo capilar. Sin embargo, cuando el proceso de secado está llegando a su término, la difusión pura es el único mecanismo posible donde cada vez es menor, hasta aproximarse a cero (Orrego, 2003; citado por Ceballos, 2008). Asimismo se identifica un similar comportamiento de velocidad de secado para espesores mínimos en cuanto a variaciones de sus curvas a diferencia de los espesores máximos que no ocurre lo mismo.

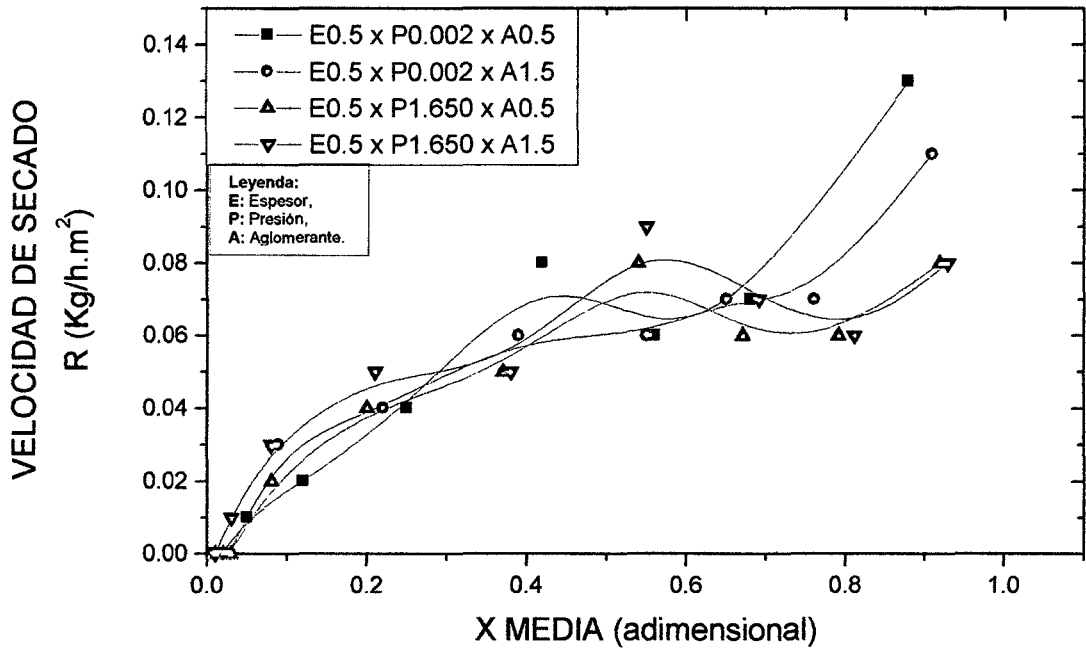


Figura N°18: Velocidad de secado en función a un espesor mínimo, presión y cantidad de Aglomerante

Fuente: Elaboración Propia (2015).

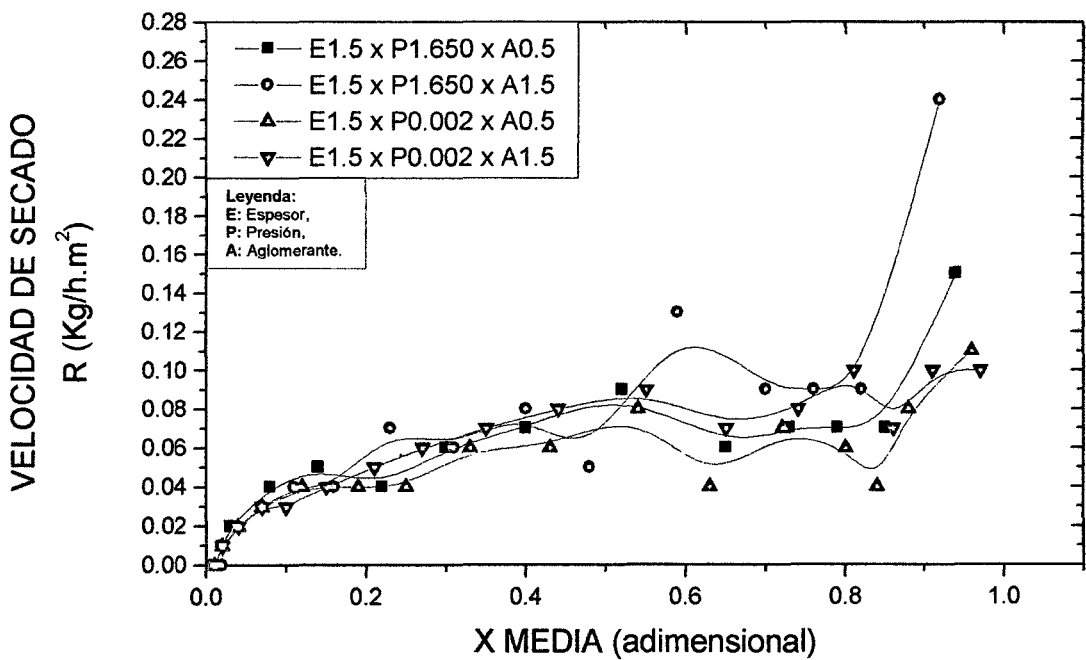


Figura N°19: Velocidad de secado en función a un espesor máximo, presión y cantidad de Aglomerante

Fuente: Elaboración Propia (2015).

4.4.3. Influencia del espesor, presión y cantidad de aglomerante en la difusividad.

Con respecto a la Humedad en Base Seca (HBS) en función del tiempo para pulpa liofilizada. Se observa que en los cuatro primeros tratamientos (espesor de 0,5 cm) se aprecia claramente un descenso marcado de humedad en las 3 primeras horas para luego tender a una humedad constante que se alcanza, aproximadamente a partir de las 5 horas de secado; en cambio para los 4 siguientes tratamientos (espesor de 1,5 cm) el descenso de humedad se aprecia recién a las 9 primeras horas y tiende a una humedad constante a partir de las 12 horas de secado.

El tratamiento con menor HBS es el tratamiento N°2 (E0,5 x P0,002 x A1,5) que alcanzó 0,0574 g H₂O/ g sólido seco, luego de 14 horas de secado y el tratamiento de mayor HBS fue el N°7 (E1,5 x P0,002 x A0,5) con 0,1347 g H₂O/ g sólido seco (Ver Anexo N°10); los mismos que se observan en la Figura N°20 donde manifiestan comportamientos completamente diferentes.

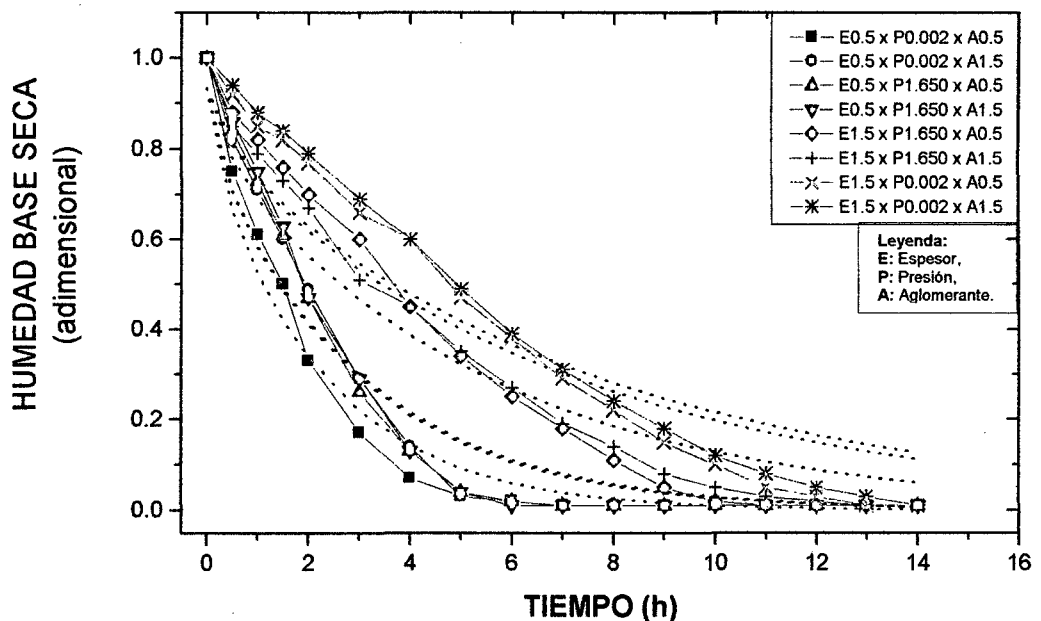


Figura N°20: Comportamiento de las HBS en función a un espesor, presión y cantidad de Aglomerante

Fuente: Elaboración Propia (2015).

4.4.3.1. Valores obtenidos de difusividad

En el Cuadro N°15 se presentan los valores obtenidos de difusividad para los diferentes tratamientos. Los valores de difusividad del agua presentes en la pulpa de camu camu liofilizado, estuvieron comprendidas entre $0,9342 \times 10^{-9}$ (m²/s), como el valor más bajo y $4,6936 \times 10^{-9}$ (m²/s) como el valor más alto. La tendencia muestra que los valores de difusividad con espesores de 1,5 cm son mayores; diferentes valores se presentan en el secado convencional (65°C) de plátano espumado con Enustad (Aditivo) donde a un espesor de 0,5 cm la difusividad es de $5,672 \times 10^{-9}$ (Valverde & Amurrio, 2010), es decir en el secado convencional la velocidad de difusión se presenta más rápido a diferencia que en la liofilización.

Cuadro N°15: Valores obtenidos de Difusividad en el secado de pulpa camu camu calculados con la ecuación de Fick para placa plana

N° TRATAMIENTO	ESPESOR (cm)	PRESIÓN (mbar)	Aglomerante (%)	Difusividad 10 ⁻⁹ (m ² /s)	Difusividad (cm ² /h)	Coefficiente de Correlación (R2)
1	0.5	0.002	0.5	1.2303	0.04429	0.98
2	0.5	0.002	1.5	0.9525	0.03429	0.95
3	0.5	1.650	0.5	0.9594	0.03454	0.95
4	0.5	1.650	1.5	0.9342	0.03363	0.94
5	1.5	1.650	0.5	4.6814	0.16853	0.93
6	1.5	1.650	1.5	4.6936	0.16897	0.96
7	1.5	0.002	0.5	3.5861	0.12910	0.91
8	1.5	0.002	1.5	3.3633	0.12108	0.90

Fuente: Elaboración Propia (2015).

4.4.3.2. Efecto de la presión y espesor sobre la difusividad en el secado de pulpa camu camu.

En la Figura N°21 se presenta la superficie de respuesta de la difusividad efectiva en función a la presión y el espesor, donde se observa que la región roja representa los valores altos de difusividad, que son a

consecuencia de muestras con espesores máximos primordialmente, ya que a diferentes presiones presenta parecido comportamiento; similares resultados obtuvieron Hernández & Ossa, *et al* (2011), quienes al secar rodajas con diferentes espesores (0,5 1,0 y 1,5 cm) de carambola a diferentes temperaturas de bulbo seco (50, 55 y 60°C) confirmaron que el espesor tiene efecto significativo sobre el tiempo de secado y el coeficiente de difusividad efectiva ya que al aumentar el espesor aumentaron los coeficientes de difusión y tiempo de secado, y esto se debió a causa de que la difusividad de agua depende de la temperatura y distancia (espesor).

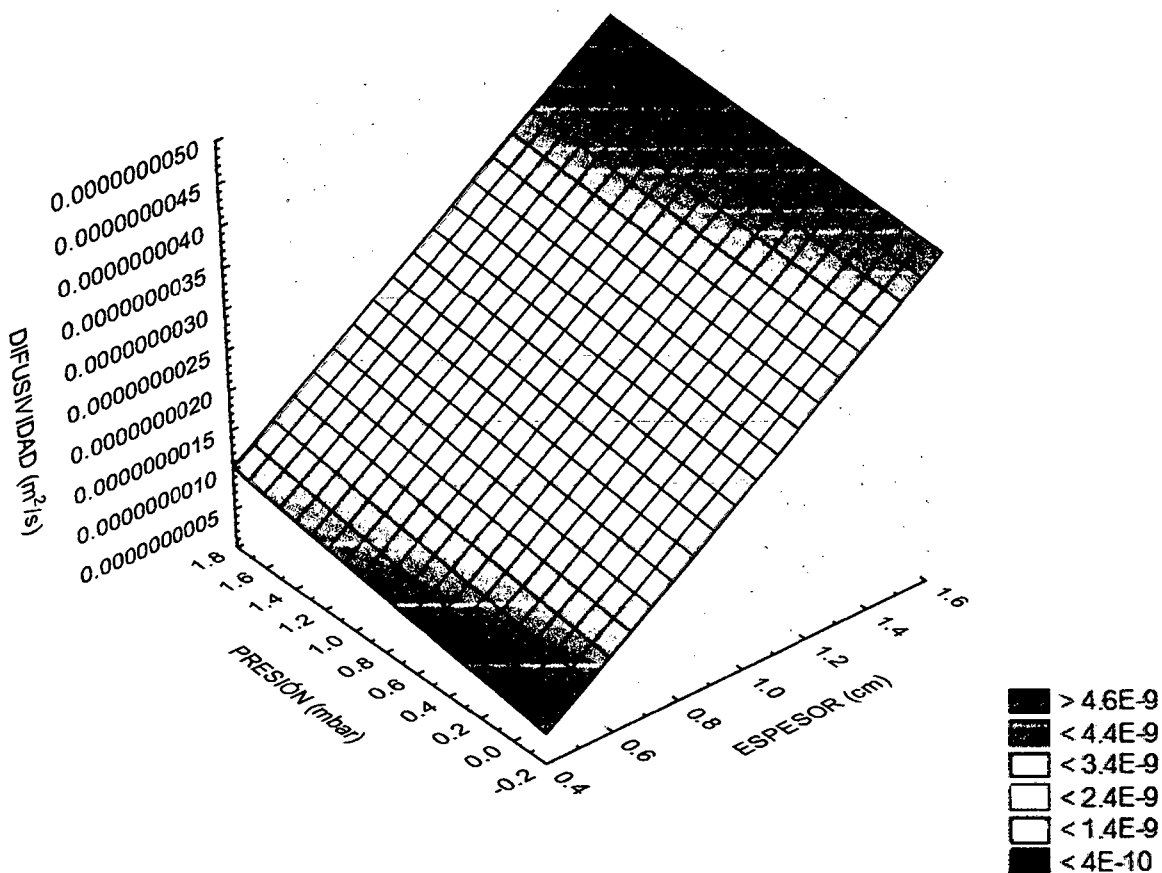


Figura N°21: Superficie de respuesta en el análisis de Difusividad de la pulpa de camu camu liofilizada por efecto de presión y espesor.

Fuente: Elaboración Propia (2015).

4.4.3.3. Efecto de la cantidad de aglomerante y espesor sobre la difusividad en el secado de pulpa camu camu.

En la Figura N°22 se presenta la superficie de respuesta de la difusividad efectiva en función al espesor y cantidad de aglomerante, donde la región roja representa los valores altos de difusividad, es decir que al utilizar máximos espesores mayores valores obtendremos, efecto que a comparación de la cantidad de aglomerante es significativo, ya que en este último utilizemos cantidades mínimas o máximas de aglomerante obtenemos los mismos resultados en difusividad efectiva.

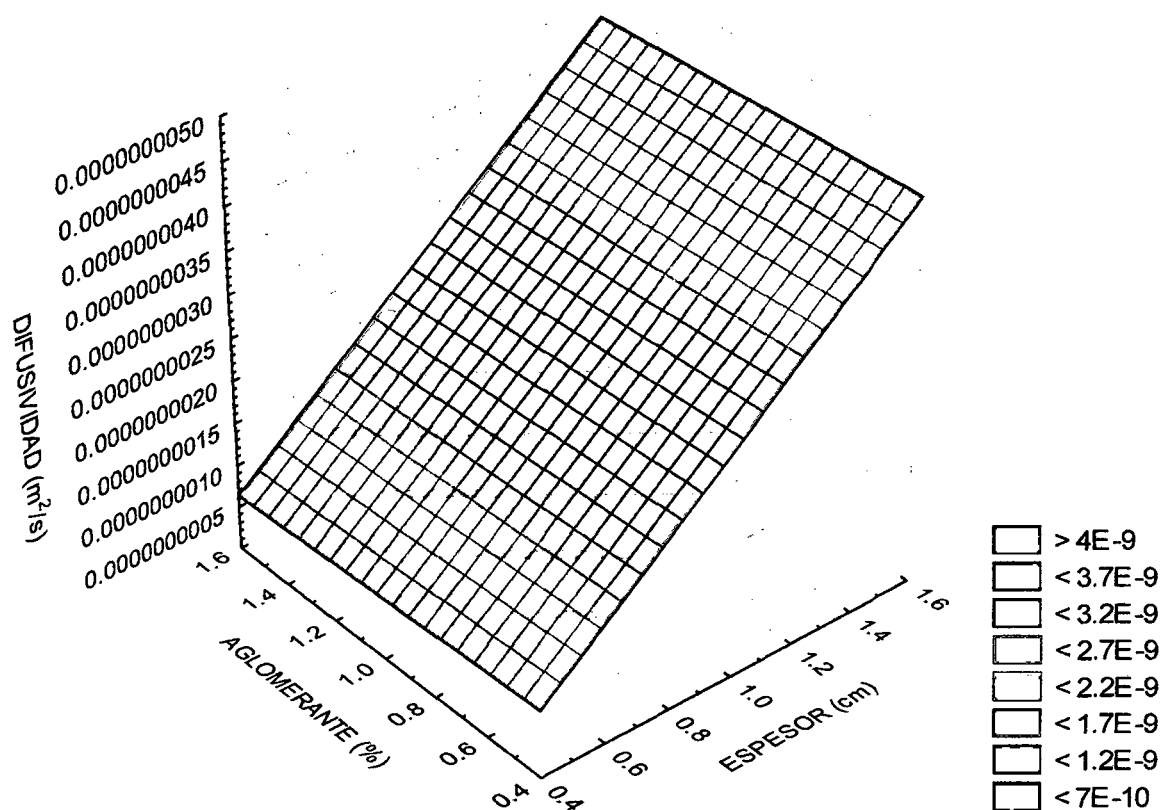


Figura N°22: Superficie de respuesta en el análisis de Difusividad de la pulpa de camu camu liofilizada por efecto de cantidad de aglomerante y espesor.

Fuente: Elaboración Propia (2015).

4.4.3.4. Efecto de la cantidad de aglomerante y presión sobre la difusividad en el secado de pulpa camu camu.

La superficie de respuesta de la difusividad efectiva en función a la presión y cantidad de aglomerante se presenta en la Figura N°23, encontrándose los valores mayores en la región roja, que es a causa de la interacción de presiones máximas y cantidades mínimas de aglomerante, observando que la presión emite un efecto más significativo que la cantidad de aglomerante, pero aun así mínimo; este comportamiento es similar a lo mencionado por Arnaldos *et al.* (1998) quien afirma que el coeficiente de difusividad efectiva no es afectado al variar la presión de operación para partículas internas compactas, ya que la difusividad interna no permite que la variación de presión afecte y como resultado se da el aumento de velocidad de secado, no importando la cantidad de aglomerante utilizado sino el uso del mismo.

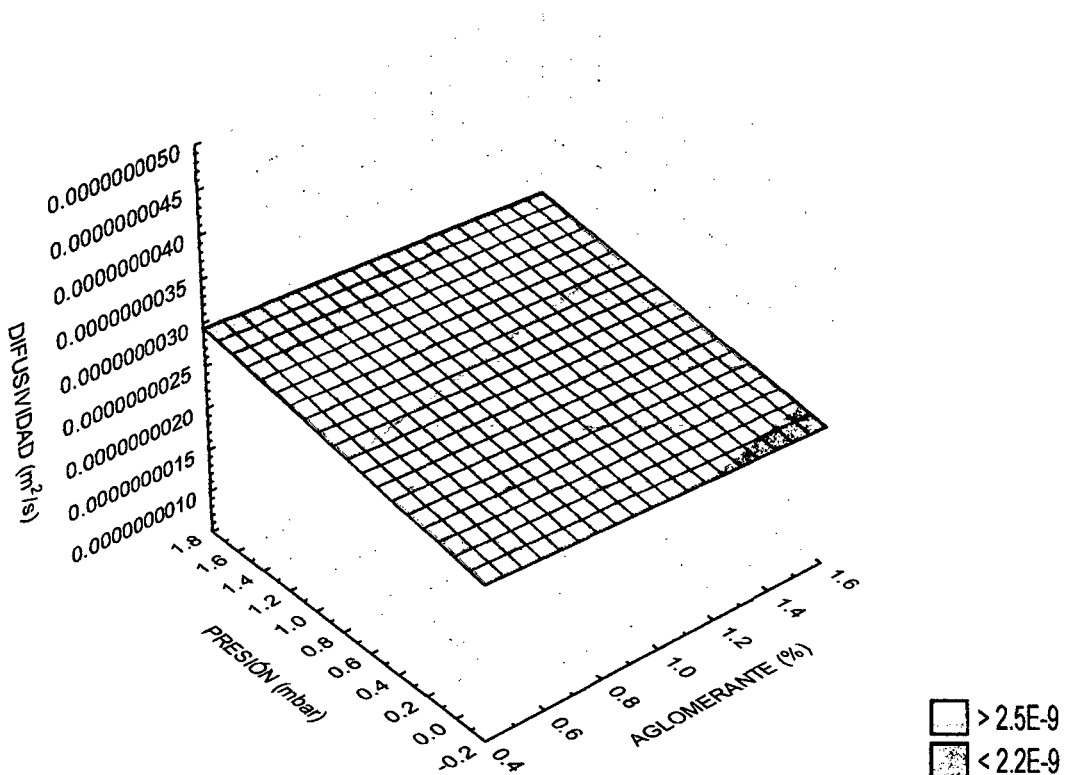


Figura N°23: Superficie de respuesta en el análisis de Difusividad de la pulpa de camu camu liofilizada por efecto de aglomerante y presión.

Fuente: Elaboración Propia (2015).

4.4.4. Variación del color en el Secado

En el Cuadro N° 16 observamos la variación del color con respecto a L*, a* y b* (Ver Anexo N°09), encontrando diferencias significativas en cuanto al color original, ya que para el parámetro L*, que representa la variación entre el color negro y blanco; 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 en fresco, similares resultados obtuvo Acuña & Tesone (2004), en la obtención de un polvo de aloe vera con ácido ascórbico por liofilización, donde los valores de L* se encuentran por encima del producto en fresco.

Asimismo los valores de cromaticidad (a*) que varían desde verde hasta el color rojo (el color verde se encuentra por debajo de 0 y el rojo por encima de 0) tuvieron el mismo comportamiento, donde los valores de a* para la pulpa fresca fueron más bajos que los tratamientos liofilizados, encontrándose todos por encima de cero, es decir que todos poseen una coloración con saturación roja con la diferencia de que la pulpa fresca tiene ligera tendencia hacia el verde por estar más cercano a 0.

Cuadro N°16: Comparación del color en el Producto Terminado

N°	TRATAMIENTO	L*	a*	b*	IC
	Pulpa Fresca	48,69	6,50	-2,51	-53,29
1	E 0,5 cm x P 0,002 mbar x A 0,5%	61,82	36,29	17,37	33,85
2	E 0,5 cm x P 0,002 mbar x A 1,5%	72,87	45,10	22,76	27,27
3	E 0,5 cm x P 1,650 mbar x A 0,5%	54,76	38,04	18,82	36,89
4	E 0,5 cm x P 1,650 mbar x A 1,5%	70,19	29,88	15,75	27,22
5	E 1,5 cm x P 1,650 mbar x A 0,5%	68,18	31,30	16,17	28,42
6	E 1,5 cm x P 1,650 mbar x A 1,5%	53,49	38,87	23,27	31,22
7	E 1,5 cm x P 0,002 mbar x A 0,5%	49,60	35,31	23,97	30,44
8	E 1,5 cm x P 0,002 mbar x A 1,5%	54,84	34,69	23,43	28,08

Leyenda: E: Espesor; P: Presión; A: Aglomerante.

Fuente: Elaboración Propia (2015).

Los valores de b* en cambio, muestran la variación del color entre el azul (valores debajo de cero, Negativos) y el amarillo (valores encima de cero, Positivos), de los tratamientos obtenidos por liofilización se puede

observar que los valores son positivos y tienen tendencia a saturación amarilla en cambio la pulpa fresca obtiene valores negativos con tendencia a saturación azul.

El color también puede ser evaluado mediante la determinación del índice de color (IC*), quien describe la coloración de la epidermis de la fruta englobando L, a* y b* (García & Hernández *et. al*, 2011); al realizar la prueba media de tuckey con 5% de significancia a los valores de índice de color para cada uno de los tratamientos (Ver Anexo N°01) no se encontró diferencia significativa entre los tratamientos T1, T6 y T7 (BA) y para T2, T4, T5 Y T8 (B) pero si encontró diferencia significativa al compararlos contra T3 (A); asimismo todos estos valores que se obtuvieron después de la liofilización se encuentran dentro del rango positivo de [+20 a +40] que según Vignoni & Césari, *et al* (2006) se relacionan con los colores que van desde el naranja intenso al rojo profundo, teniendo al T4 (E 0,5 cm x P 1,650 mbar x A 1,5 %) como mejor comportamiento seguido del T2, T8 y T5 consecuentemente.

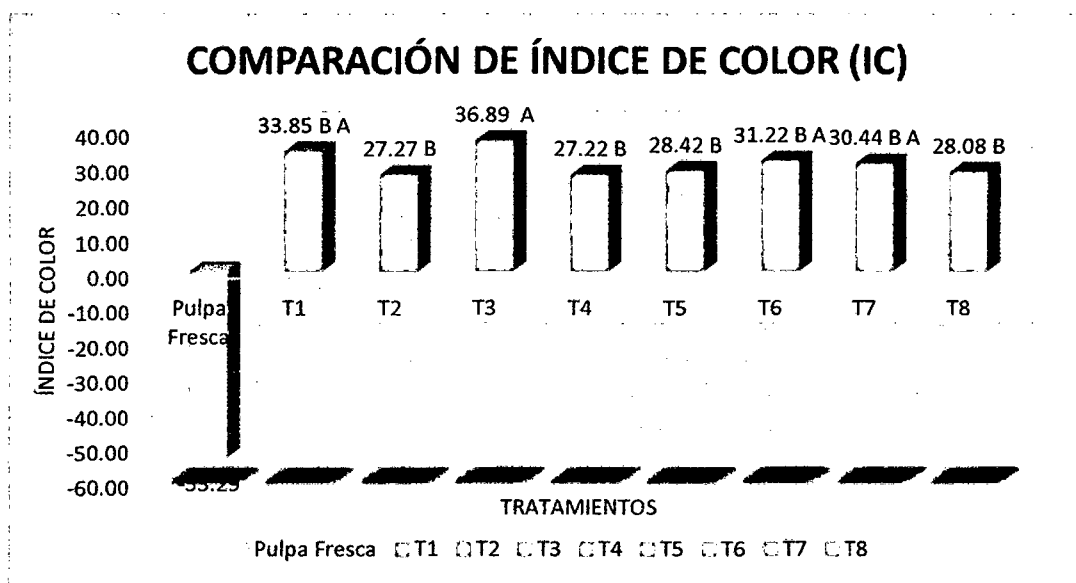


Figura N°24: Comparación de los Índices de Color (IC) de la pulpa fresca y los tratamientos de pulpa liofilizada de camu camu.

Fuente: Elaboración Propia (2015).

En la Figura N°25, se presenta la superficie de respuesta para el Índice de color (IC) donde las franjas rojas representan los tratamientos con mayor IC (más alejados al IC de la pulpa fresca); es decir que a presiones altas (1,650 mbar) y espesores mínimos (0,5 cm) tenemos un color rojo muy intenso y saturado que según Mahecha (2011) significa que ha llevado más tiempo de haberse procesado (liofilizado) y sufre un mayor pardeamiento de color; a diferencia de los que no sufren mayor variabilidad al color inicial, es decir a espesores máximos (1,5 cm) y presiones mínimas (0,002mbar), quienes aún no alcanzan una Humedad del 5 % (secado deficiente) pero ya tienen una significativa pérdida de color; recalcando que la variabilidad **no es significativa** según el análisis de varianza a un $R^2=0,7276$, $CV= 8,9514$ y $\bar{X}= 30,4246$ (Ver Anexo N°01).

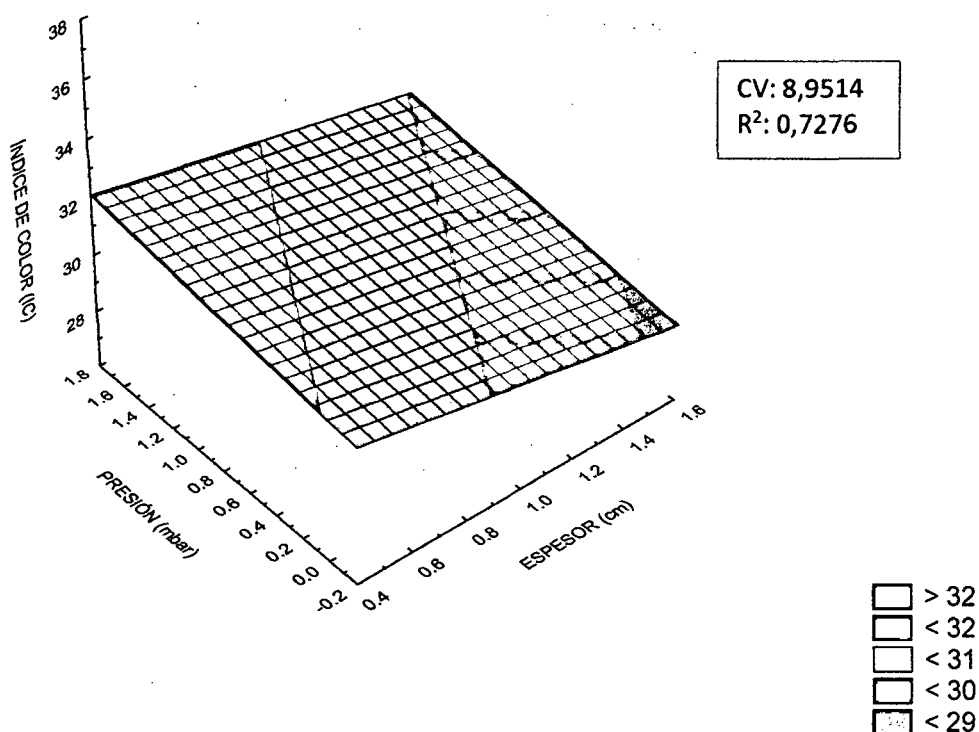


Figura N°25: Superficie de respuesta de la variación de Índice de color de pulpa de camu camu liofilizada por efecto de la presión y espesor.

Fuente: Elaboración Propia (2015).

En la Figura N°26 observamos también que la región roja es donde el IC es más intenso, es decir que los tratamientos con espesores máximos (1,5 cm) y a cantidades mínimas (0,5 %) de aglomerante son quienes conservan aún el color inicial, pero recalcando que los tratamientos con espesores máximos son los que se obtuvieron con mucha más humedad que los mínimos, lo que indica que aún faltan procesar y la pérdida será aún mayor; entonces se consideraría que a mínimos espesores y mayor cantidad de aglomerante obtendríamos un mejor color, ya que según Baduí (2006) el aglomerante actúa como encapsulante de aquellas características causantes del color. Agregando a esto, en el análisis de varianza, al 95% de confianza, se obtuvo que el efecto del **espesor** no es **significativo**, la **cantidad de aglomerante** es **significativo**, y la interacción de ambos es también **significativo** (Ver Anexo N°01).

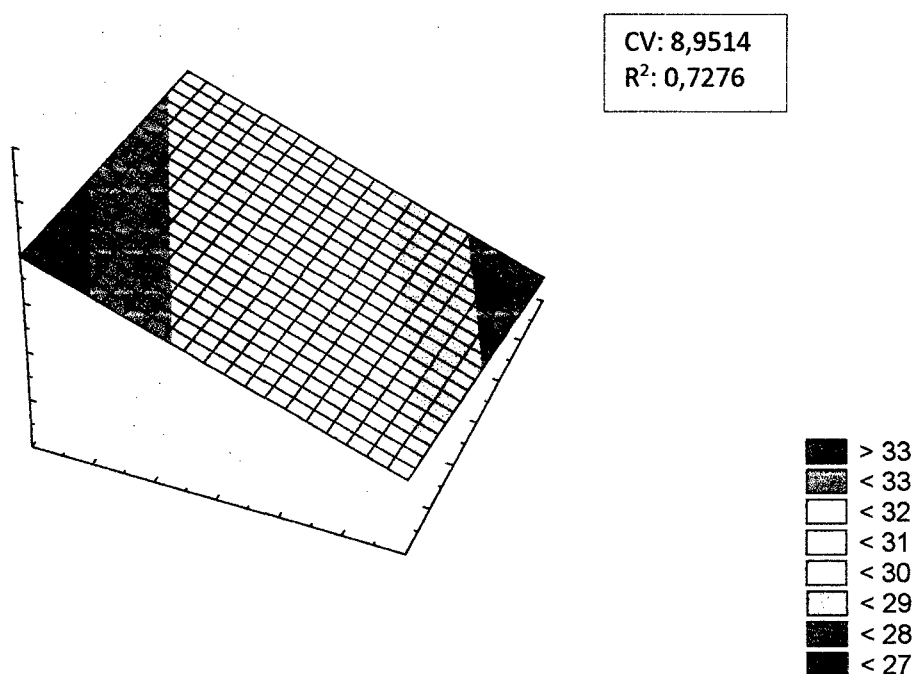


Figura N°26: Superficie de respuesta de la variación de Índice de color de pulpa de camu camu liofilizada por efecto del espesor y cantidad de aglomerante.

Fuente: Elaboración Propia (2015).

Asimismo en la Figura N°27 se observa claramente la superficie de respuesta para el IC donde nos demuestra que a presiones mínimas (0,002 mbar) y a cantidades de aglomerante máximas (1,5 %) se obtiene un IC de color más cercanos a los de la pulpa fresca de camu camu; resultados que concuerdan con lo mencionado por Rey (1975), citado por Ceballos (2008) que nos afirma que a una presión reducida se alcanza valores de 5 % de humedad o menores y se obtiene una mejor liofilización conservando las características del producto y agregado a esto, la participación de la goma arábica, que gracias a sus propiedades funcionales actúa como agente filmogénico (Badui, 2006), es decir, ayuda a una protección coloidal máxima del producto encapsulándolo (estabilizándolo e impidiendo la oxidación de sus componentes); similares resultados presentaron Rojas & Alegría (2005) donde se obtuvieron con el 1% de goma arábica condiciones aceptables de color.

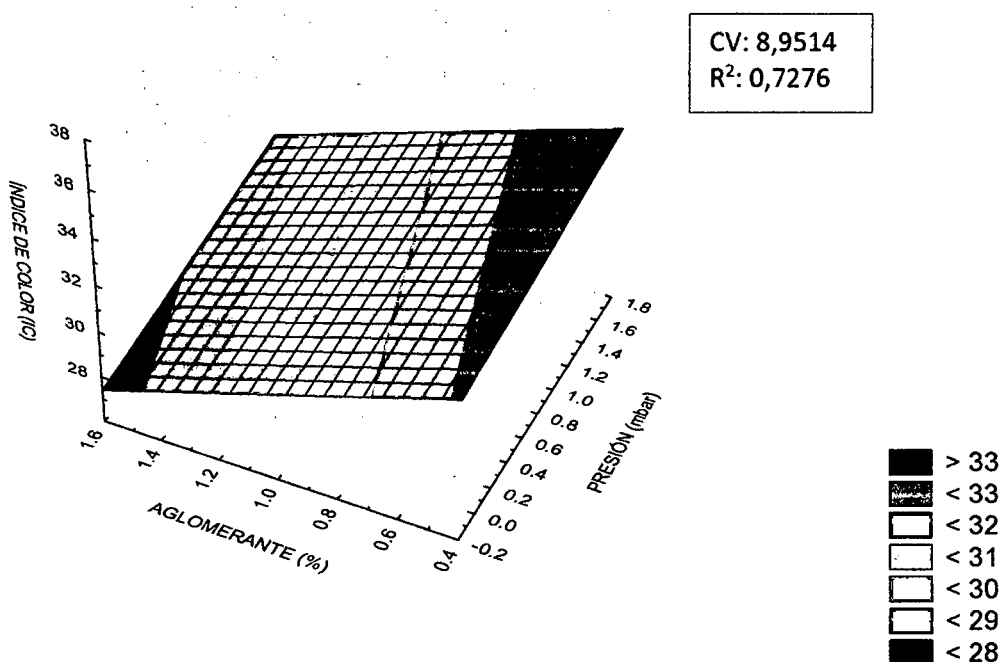


Figura N°27: Superficie de respuesta de la variación de Índice de color de pulpa de camu camu liofilizada por efecto de la presión y cantidad de aglomerante.

Fuente: Elaboración Propia (2015).

4.4.5. Pérdida del contenido de Vitamina C en el secado

En la Figura N°28 se presentan valores de pérdida de vitamina C (%) obtenidas del secado por liofilización frente a una muestra inicial testigo (pulpa fresca de camu camu), obteniendo como mejor tratamiento al N°1 (E 0,5 cm x P 0,002 mbar x A 0,5 %) ya que tuvo una pérdida mínima del 8,73%, seguido del N°2 (E 0,5 cm x P 0,002 mbar x A 1,5 %) con 12,74 % de pérdida, resultados que fueron menores comparándolos con los de la investigación realizada por Rojas & Alegría (2005) quienes obtuvieron una pulpa de camu camu con 1% goma arábica liofilizada a una temperatura de -28 a -15 °C y Presión de 0,66 a 0,13 mbar, con una pérdida de 13,1 % de vitamina C, lo cual se observa que la influencia de los parámetros mínimos controlados (E 0,5 cm x P 0,002 mbar x A 0,5 %) tuvieron un efecto significativo sobre los resultados, ya que el tratamiento que resulto con mayor pérdida estuvo influenciado por parámetros máximos, es decir el tratamiento N°6 (E 1,5 cm x P 1,650 mbar x A 1,5 %) con el 22,23 % de pérdida.

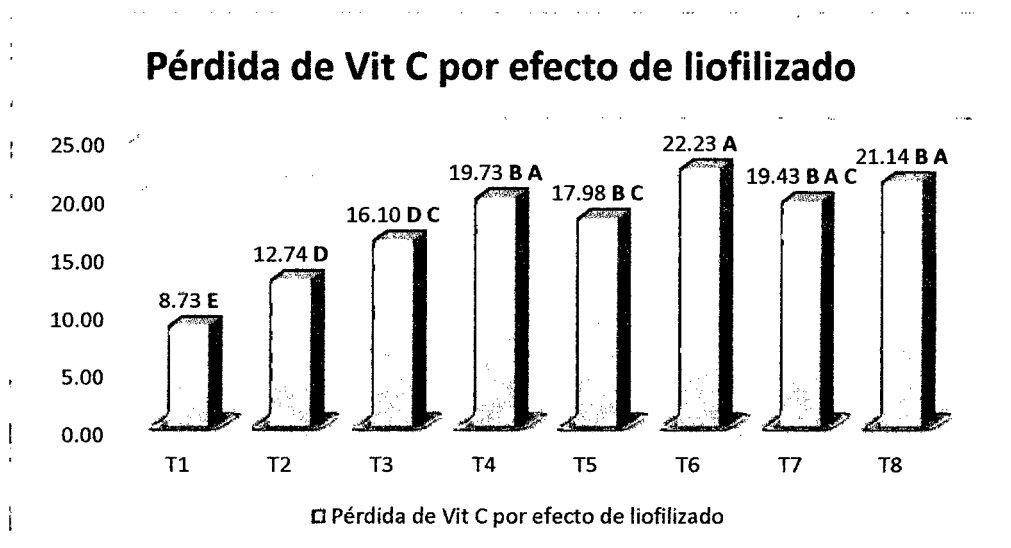


Figura N°28: Comparación de pérdidas de Vitamina C (%) en la liofilización de la pulpa de camu camu.

Fuente: Elaboración Propia (2015).

El análisis de varianza, al 95 % de confianza, nos indica que: el efecto del espesor es significativo, de la presión es significativo, y de la interacción

de ambos factores es también significativo. Asimismo el efecto de la cantidad de aglomerante es significativo pero al interactuarlo con los parámetros anteriores no es significativo. Los parámetros del ANVA fueron $R^2=0,9561$, $CV= 6,9667$ y $\bar{X}= 17,2610$, ver Anexo N°02.

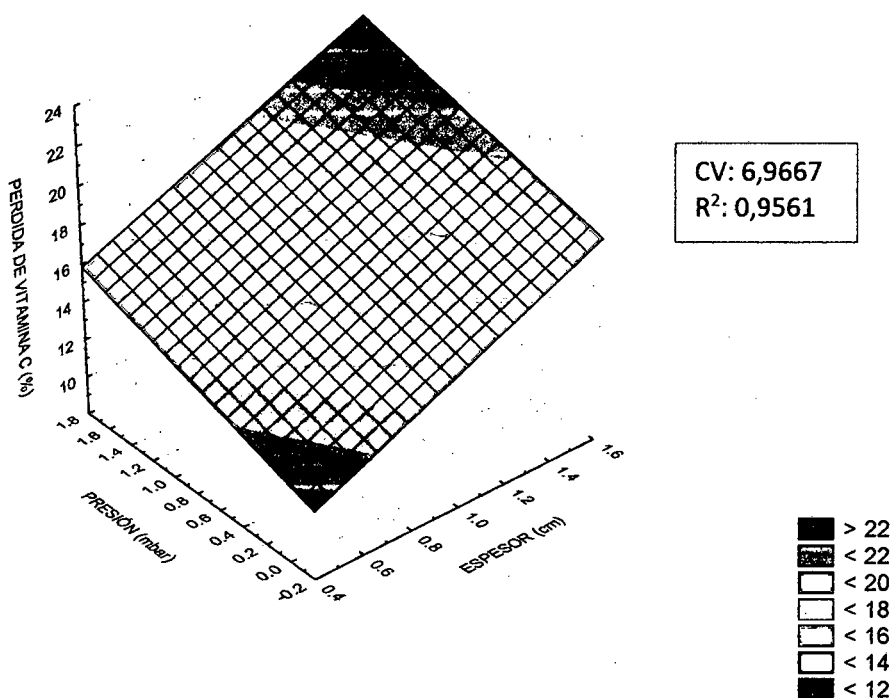


Figura N°29: Superficie de respuesta de la pérdida de Vitamina C en la liofilización de la pulpa de camu camu por efecto de la presión y espesor.

Fuente: Elaboración Propia (2015).

La superficie de respuesta para la pérdida de vitamina C se presenta en la Figura N°29, donde se observa claramente que la franja roja representa la región donde existe mayor pérdida, es decir entonces que a presiones mínimas (0,002 mbar) y a espesores mínimos (0,5 cm) se conserva la vitamina C ya que las pérdidas son mínimas; estos resultados se complementan con lo mencionado por Rey (1975), citado por Ceballos (2008) que nos afirma que a una presión reducida se realiza mejor la liofilización conservando las características del producto, y entre ellas la vitamina C que según Badui (1984) es la más termolábil e inestable, usada como índice de retención de nutrientes, es decir que si aquella

resiste a los tratamientos térmicos durante el procesamiento de alimentos, todos los demás nutrimentos serán poco afectados. Asimismo Orrego (2003), citado por Ceballos (2008) menciona que mientras más delgado es el espesor menor es la resistencia para el flujo de calor y al paso de masa a través la muestra; es decir que el tiempo de deshidratado es menor (Alcanzando 5 % o menor de humedad) y la Vitamina C esta menos propenso a degradarse.

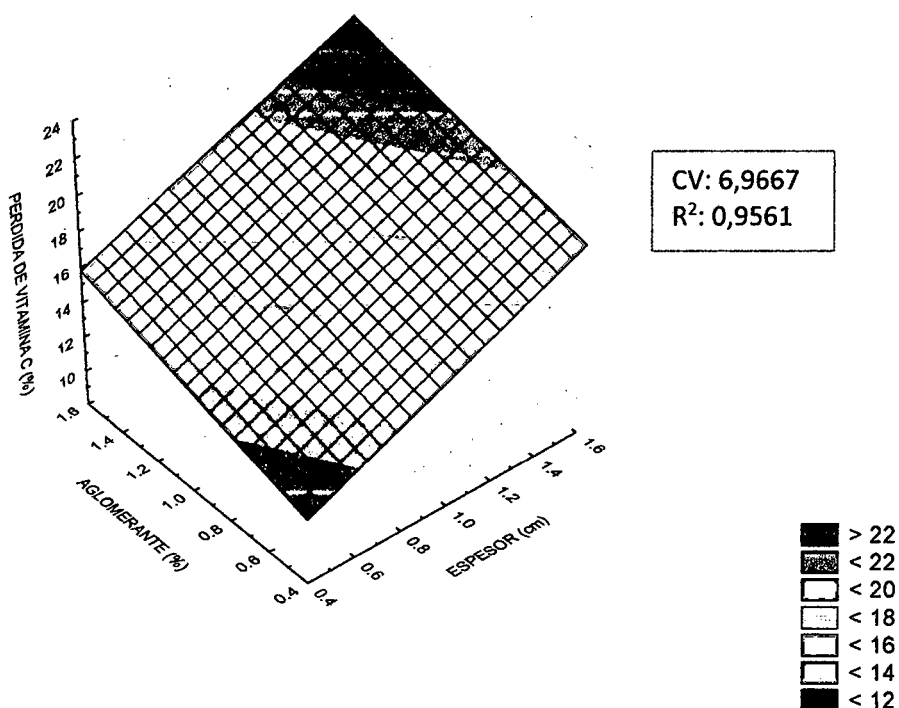


Figura N°30: Superficie de respuesta de la pérdida de Vitamina C en la liofilización de la pulpa de camu camu por efecto del espesor y cantidad de aglomerante.

Fuente: Elaboración Propia (2015).

En la Figura N°30 se presenta la superficie de respuesta de la pérdida de vitamina C en función a la cantidad de aglomerante y el espesor, donde se observa que la vitamina C se conserva mejor (menos pérdida) a espesores mínimos (0,5 cm) y cantidades mínimas de aglomerante (0,5 %), donde según el análisis de varianza al 95 % de confianza, la interacción de ambos factores **es no significativo**, lo cual indicaría que el efecto de esta interacción no tiene significancia en el producto final.

Asimismo en la Figura N°31 se presenta la superficie de respuesta de la pérdida de vitamina C en función a la cantidad de aglomerante y la presión, donde se observa que la vitamina C se conserva (menos pérdida) a presiones mínimas (0,002 mbar) y cantidades mínimas de aglomerante (0,5 %), esto se debe a que al haber más vacío (menos presión y/o oxígeno) se convierte en una vía de degradación (de ácido ascórbico a ácido deshidroascorbico) anaeróbica más lenta ya que la humedad se irá perdiendo más rápido y habrá mayor estabilidad del ácido ascórbico y las pérdidas serán mínimas a diferencia de que cuando hay mayor presión (Fenema, 2000); asimismo el análisis de varianza al 95 % de confianza, la interacción de ambos factores también es no significativo, lo cual indicaría que el efecto de esta interacción no tiene significancia en el producto final.

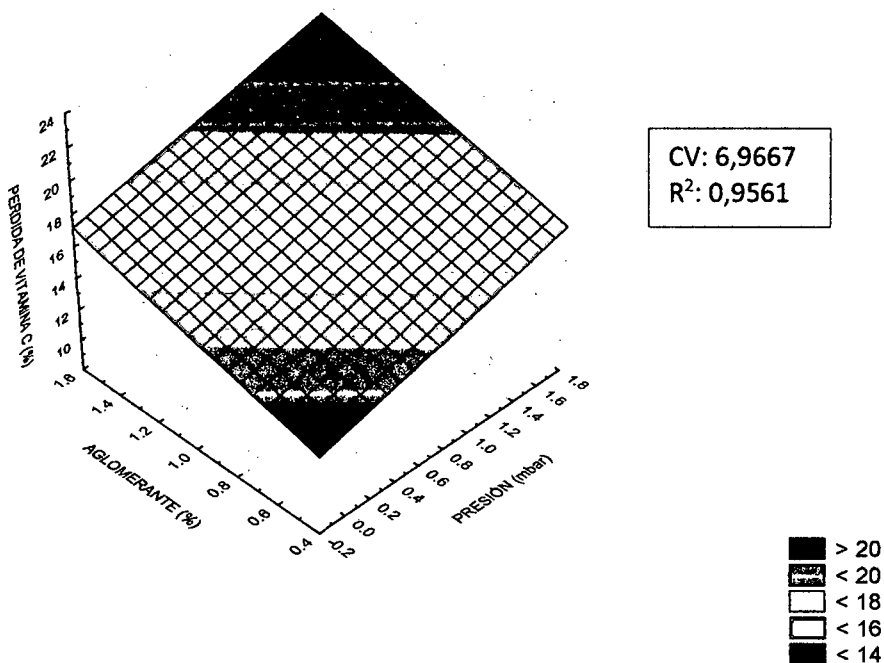


Figura N°31: Superficie de respuesta de la pérdida de Vitamina C en la liofilización de la pulpa de camu camu por efecto de la presión y cantidad de aglomerante.

Fuente: Elaboración Propia (2015).

4.5. Análisis químico proximal de la pulpa de camu camu liofilizado.

En el Cuadro N°17 se muestran los resultados obtenidos en el análisis proximal de la pulpa de camu camu liofilizada. La humedad en base seca promedio fue de 8,70 %, resultados diferentes obtuvieron Sotomayor (2000) y Rojas & Alegría (2005) con 5,49 % y 4,34 % de HBS respectivamente, lo cual nos indica que la muestra pudo deshidratarse (lioofilizarse) aún más.

Cuadro N°17: Análisis Físico-químico Proximal de la Pulpa liofilizada de camu camu.

COMPONENTE	CONCENTRACIÓN (%)	(*) CONCENTRACIÓN (%)	(**) CONCENTRACIÓN (%)
Humedad	8,70	5,20	4,34
Proteínas	3,27	8,60	8,89
Grasa	0,17	0,69	0,71
Ceniza	3,07	2,57	2,65
Fibra	0,95	2,72	2,87
Carbohidratos	83,84	80,42	80,54

(*) Sotomayor (2000)

(**) Rojas y Alegría (2005)

Fuente: Elaboración Propia (2015).

Comparando los resultados obtenidos, podemos decir que varían significativamente lo cual nos indicaría que muchos de estos componentes químicos se perdieron a causa del doble congelamiento, ya que las muestras tuvieron que ser congeladas (almacenadas) para luego ser descongeladas, pulpeadas y liofilizadas para poder ser usadas lote a lote. Asimismo se puede observar que el % de proteína es muy diferente ya que varía desde 3,27 a 8,89 %, lo cual esto se debería al método de determinación utilizada, ya que en este análisis se utilizó el método kjeldahl que consta de 3 procesos: digestión, destilación y titulación (A.O.A.C., 2000) y el factor k utilizado fue para un vegetal (6,25); o también al tipo de pulpa obtenida (con o sin cascará) ya que ahí influenciaría en el aumento de la cantidad de proteínas.

4.6. Análisis Microbiológico de la pulpa de camu camu liofilizado

En el Cuadro N°18 se presenta los resultados del Análisis Microbiológico de la pulpa de camu camu liofilizada, lo cual podemos observar que los resultados obtenidos de Mohos, Levaduras, *Echerichia coli* y *Salmonella sp.* son aceptables ya que se encuentran dentro de los límites permisibles determinados por la Resolución Ministerial N°591-2008/MINSA-DIGESA (2008) existentes para frutas y hortalizas desecadas, deshidratadas o liofilizadas; es decir que al tener 10 de mohos y menor de 10 de levaduras significa que durante el almacenamiento anaeróbico de un mes aproximadamente tuvo mínima contaminación o proliferación de éstos, ya que se encuentra dentro de lo aceptable, y al obtener ausencia de *Echerichia coli* y *salmonella sp.* nos asegura que el operario realizó las Buenas Prácticas de Manufactura (BPM).

Cuadro N°18: Análisis Microbiológico de la Pulpa de camu camu liofilizada.

PARÁMETRO	Resultado	Límite permisible (NTS 2008)
Mohos (ufc/g)	10	10 ³
Levaduras (ufc/g)	<10	10 ³
<i>Echerichia coli.</i> (NMP/g)	0	5x10 ²
<i>Salmonella sp.</i>	Ausencia	...

Fuente: Elaboración Propia (2015).

4.7. Análisis sensorial de la pulpa de camu camu liofilizado

En la elección del mejor tratamiento del liofilizado de pulpa de camu camu se realizó un análisis sensorial, con un diseño de bloques completamente al azar con arreglo factorial (DBCA), empleando 10 jueces no entrenados pero posibles consumidores, los que a través de una ficha de evaluación (Anexo N° 06, 07 y 08) calificaron atributos de olor, color y apariencia general de la pulpa de camu camu liofilizada con los ocho tratamientos.

Según el análisis de varianza al 95 % de confianza se encontró diferencia no significativa entre los ocho tratamientos (Anexo N°03 y 05) para los atributos de olor y apariencia general, mientras que para color si se encontró diferencia significativa (Anexo N°04), de los cuales para cada atributo de olor, color y apariencia general se obtuvo un R^2 de 0,41, 0,68 y 0,47, y un Coeficiente de Variación (CV) de 13,44, 14,50 y 19,70 respectivamente, lo cual indica que no hay mucha variabilidad en los resultados por estar con un R^2 por debajo del 50 % a excepción del color, esto ocurrió a causa de los panelistas, ya que no eran entrenados y no conocían las características específicas del fruto de camu camu; paralelo a esto se realizó las superficies de respuestas para cada atributo interactuando con los tres factores (espesor, presión y cantidad de aglomerante).

A continuación se presenta la superficie de respuesta en el análisis sensorial de pulpa liofilizada de camu camu.

4.7.1. Olor

El olor es una característica propia del camu camu que requiere ser conservada para su auténtica identificación (Rengifo, 2009). El análisis de varianza al 95 % de confianza, nos indica que: el efecto del espesor, presión, aglomerante y la interacción entre ellos es no significativo (Ver Anexo N°03).

En la Figura N° 32, se presenta la superficie de respuesta para el olor donde las franjas rojas representan los tratamientos mejor aceptados por los panelistas.

Los tratamientos mejor aceptados por los panelistas fueron a presiones mínimas (0,002 mbar), y sin embargo el espesor no influencia en la apreciación de los panelistas para los tratamientos de pulpa de camu camu liofilizado.

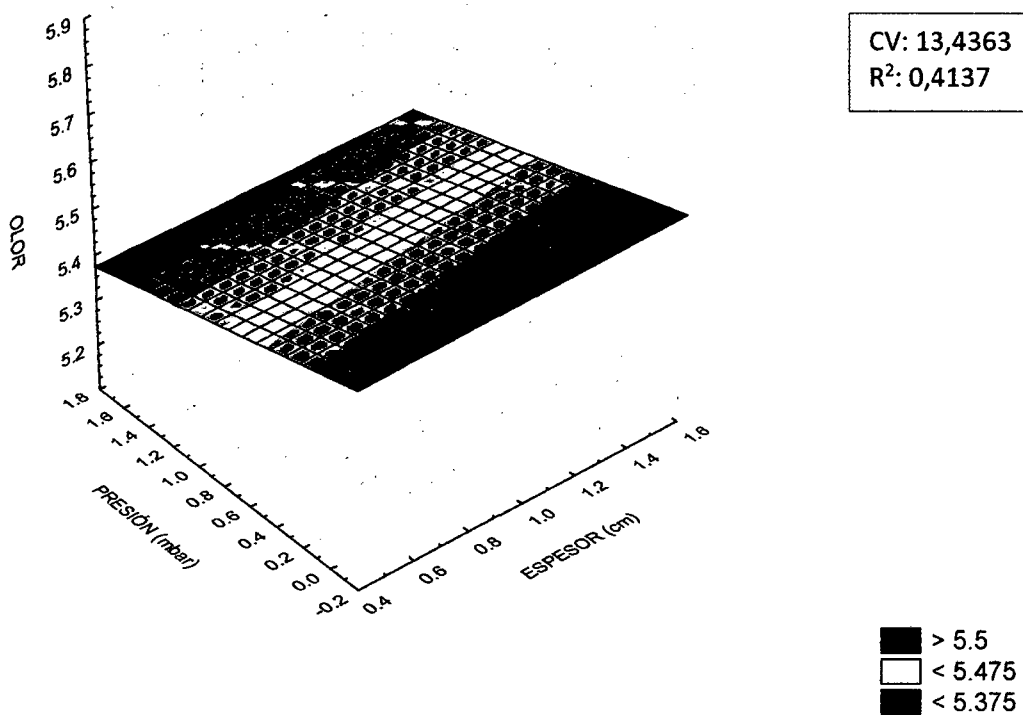


Figura N°32: Superficie de respuesta en el análisis de olor de la pulpa de camu camu liofilizada por efecto de la presión y espesor.

Fuente: Elaboración Propia (2015).

En la Figura N° 33 también se presenta la superficie de respuesta para el olor pero en función al espesor y cantidad de aglomerante, donde las franjas rojas representan los tratamientos mejor aceptados por los panelistas.

Los tratamientos mejor aceptados por los panelistas fueron a cantidades de aglomerante mínimas (0,5 %), ya que según la superficie de respuesta el efecto de espesor no causa influencia en los resultados, lo indicaría que las cantidades mínimas de aglomerante ayudan a retener olores durante la liofilización de la pulpa de camu camu, ya que estos según Baduí (2006) actúan como agente “doble”, es decir estabilizando la

emulsión mientras encapsula las gotas de aroma, y impidiendo así la oxidación del aceite esencial en el producto acabado.

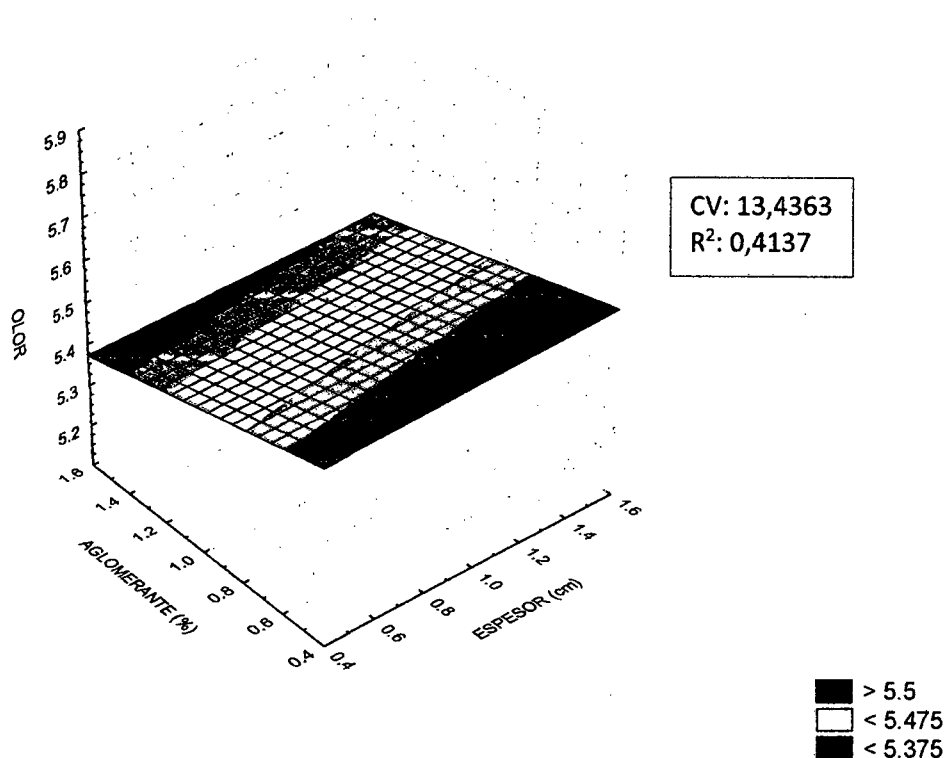


Figura N°33: Superficie de respuesta en el análisis de olor de la pulpa de camu camu liofilizada por efecto del espesor y cantidad de aglomerante.

Fuente: Elaboración Propia (2015).

La superficie de respuesta para el olor en función de la presión y cantidad de aglomerante se presenta en la Figura N°34, donde las franjas rojas representan los tratamientos mejor aceptados por los panelistas.

Los tratamientos mejor aceptados por los panelistas fueron a presiones y cantidades de aglomerante mínimas, y esto es veraz, ya que al reducir presiones (más vacío) se realizara una mejor liofilización (sublimación) evitando que la masa se funda (Parzanese, 2008) y conservando así mejor sus características organolépticas y más aún con ayuda de la goma arábica quien actuará como agente filmogénico, protegiendo las características del producto; además se puede observar que los resultados de la evaluación por los panelistas coinciden con las muestras

mejor procesadas para la conservación de vitamina C y por ende de sus características propias de la pulpa de camu camu.

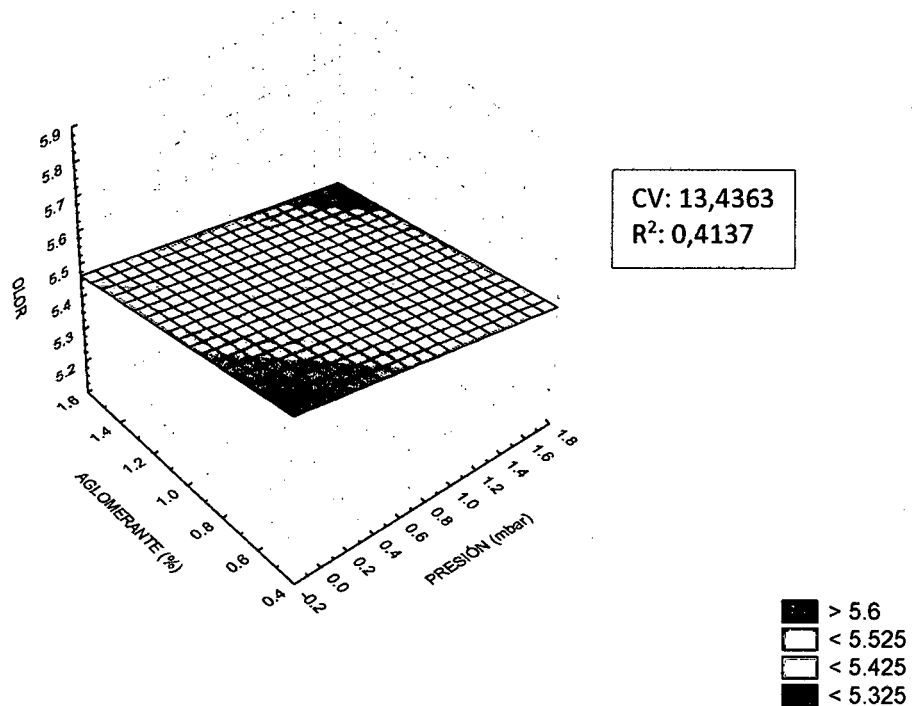


Figura N°34: Superficie de respuesta en el análisis de olor de la pulpa de camu camu liofilizada por efecto de la presión y cantidad de aglomerante.

Fuente: Elaboración Propia (2015).

4.7.2. Apariencia General.

La apariencia general que brinda el producto final es importante porque es la primera impresión que tiene el consumidor del producto (Montes, 2002), por eso se consideró como un atributo importante y se evaluó sensorialmente.

El análisis de varianza al 95 % de confianza, nos indica que: el efecto del espesor y presión es no significativo, de la cantidad de aglomerante si es significativo y la interacción entre ellos es no significativo (Ver Anexo N°05), es decir no existe variabilidad en los resultados de apariencia general.

La superficie de respuesta para la apariencia general en función al espesor y presión se presenta en la Figura N°35, donde las franjas rojas representan los tratamientos mejor aceptados por los panelistas, es decir que a espesores y presiones mínimas se encuentran los mejores tratamientos, esto es corroborado por Parzanese (2008), quien afirma que a bajos espesores que se obtiene un mejor congelando (estructura sólida, sin que haya líquido concentrado) de manera que el secado ocurra únicamente por sublimación y que gracias a las bajas presiones controladas será más efectivo este comportamiento, obteniendo un producto con características aceptables (apariencia general) y con una estructura que permita una rápida rehidratación; además se puede observar que los resultados coinciden con los mejores resultados para conservar la vitamina C.

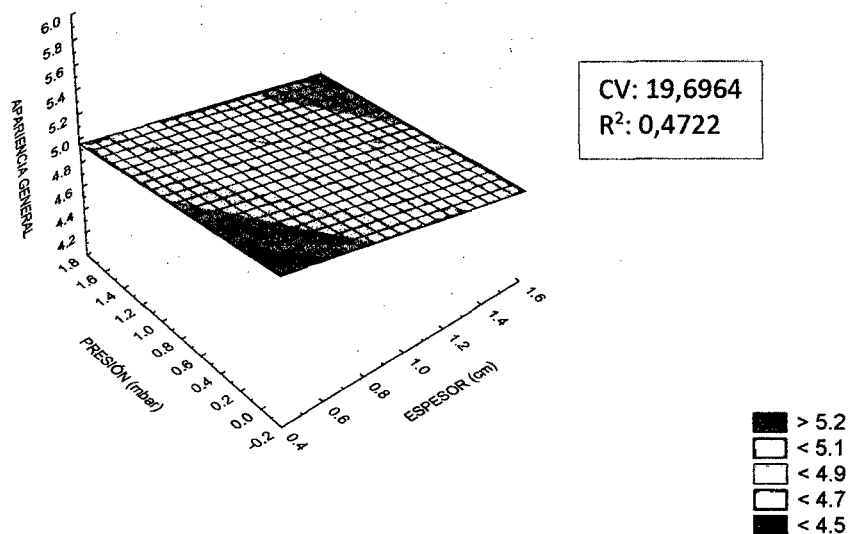


Figura N°35: Superficie de respuesta en el análisis de apariencia general de la pulpa de camu camu liofilizada por efecto de la presión y espesor.

Fuente: Elaboración Propia (2015).

En la Figura N°36 se presenta la superficie de respuesta para la apariencia general en función al espesor y cantidad de aglomerante,

donde las franjas rojas representan los tratamientos mejor aceptados por los panelistas, es decir que a espesores mínimos y a cantidades de aglomerante máximas se encuentran los tratamientos aceptados por los panelistas, resultados que coinciden con lo mencionado por Baduí (2006) quien nos dice que la goma arábica (aglomerante) al actuar como encapsulante sobre la muestra ayuda a reducir el tamaño de los cristales de hielo y esto mejora las cualidades de congelación, obteniendo así mejor proceso de sublimación (liofilización) y por ende mejores características en el producto final; además se observa que los resultados coinciden con los mejores resultados para conservar la vitamina C en cuanto a espesores (mínimos) pero no en cuanto a cantidad de aglomerante (máximas); pero sí coinciden a los resultados para conservar el color (cantidades máximas de aglomerante).

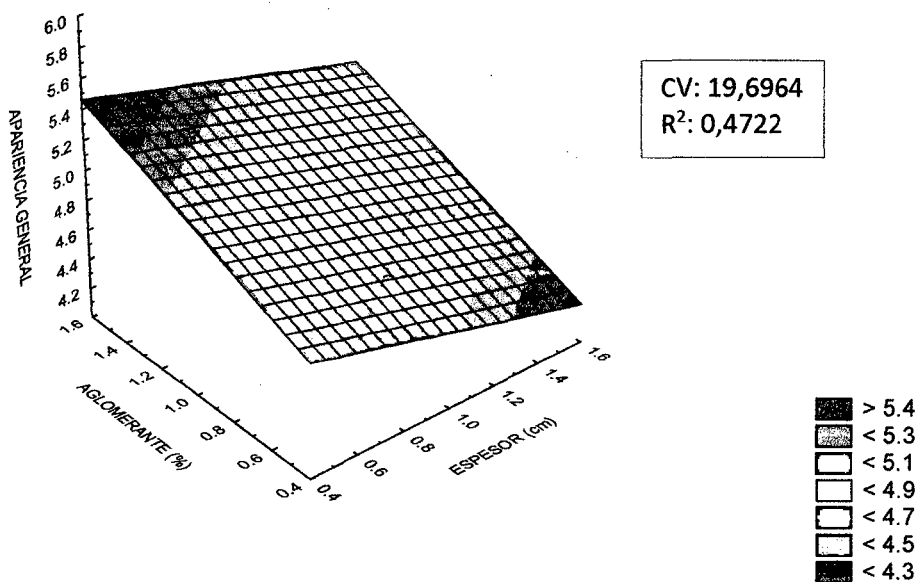


Figura N°36: Superficie de respuesta en el análisis de apariencia general de la pulpa de camu camu liofilizada por efecto del espesor y cantidad de aglomerante.

Fuente: Elaboración Propia (2015).

Asimismo la superficie de respuesta para la apariencia general en función a la presión y cantidad de aglomerante se presenta en la Figura N°37,

donde las franjas rojas representan los tratamientos mejor aceptados por los panelistas, es decir que a presiones mínimas y a cantidades máximas de aglomerante se encuentran los mejores tratamientos aceptados por los panelistas, resultados que también coinciden con los mejores resultados para conservar la vitamina C en cuanto a presión (mínimas) pero no en cuanto a cantidad de aglomerante (máximas); pero sí estas últimas coinciden a los resultados para conservar el color (cantidades de aglomerante máximas).

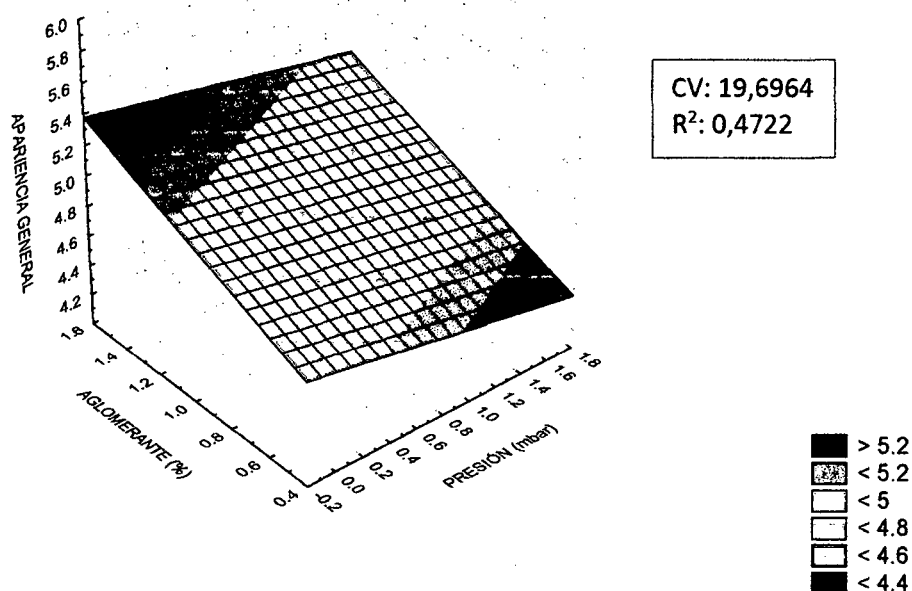


Figura N°37: Superficie de respuesta en el análisis de apariencia general de la pulpa de camu camu liofilizada por efecto de la presión y cantidad de aglomerante.

Fuente: Elaboración Propia (2015).

4.7.3. Color.

El color también es una característica importante en la pulpa liofilizada de camu camu (Montes, 2002) ya que causa atracción en el consumidor, por eso fue escogido como producto a evaluar en el análisis sensorial.

El análisis de varianza al 95 % de confianza, nos indica que el efecto de espesor, presión y cantidad de aglomerante si es significativo; y la interacción entre ellos es no significativo (Ver Anexo N°04).

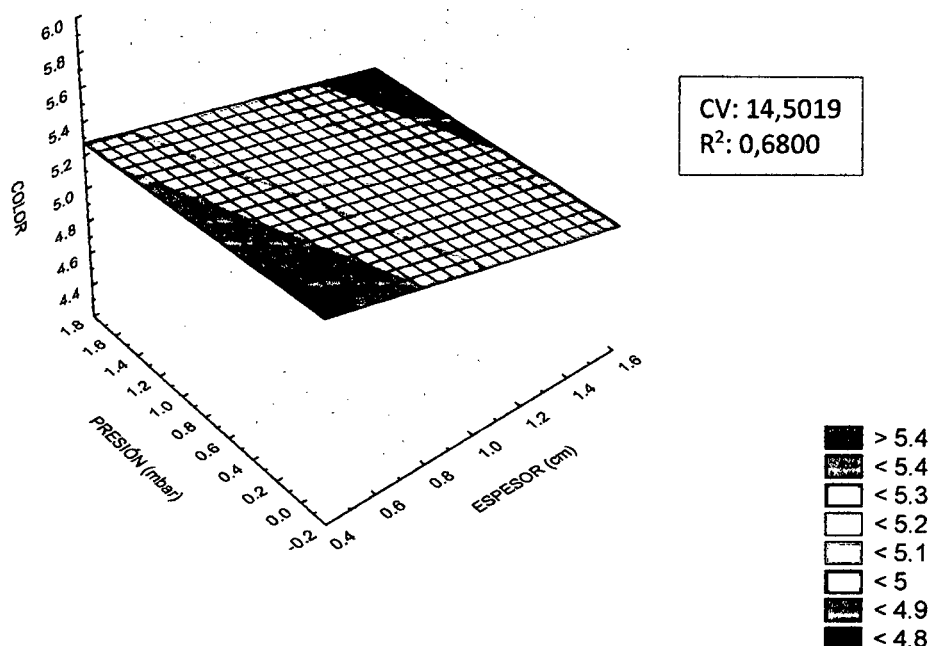


Figura N°38: Superficie de respuesta en el análisis de color de la pulpa de camu camu liofilizada por efecto de la presión y espesor.

Fuente: Elaboración Propia (2015).

La superficie de respuesta para el color en función al espesor y presión se presenta en la Figura N°38, donde las franjas rojas representan los tratamientos de mayor aceptación por los panelistas, es decir que a espesores y presiones mínimas se encuentran los mejores tratamientos, resultados que coinciden con los mejores tratamientos para conservar la vitamina C.

En la Figura N°39 se presenta la superficie de respuesta para el color en función al espesor y cantidad de aglomerante, donde las franjas rojas representan los tratamientos mejor aceptados por los panelistas, es decir

que a espesores mínimos y a cantidades de aglomerante máximas se encuentran los tratamientos aceptados por los panelistas, resultados que coinciden con los resultados para conservar el color ya que se utilizan cantidades máximas de aglomerante y mínimas de espesor, pero refutan los resultados para conservar la vitamina C ya que para ello se emplean cantidades mínimas de aglomerante.

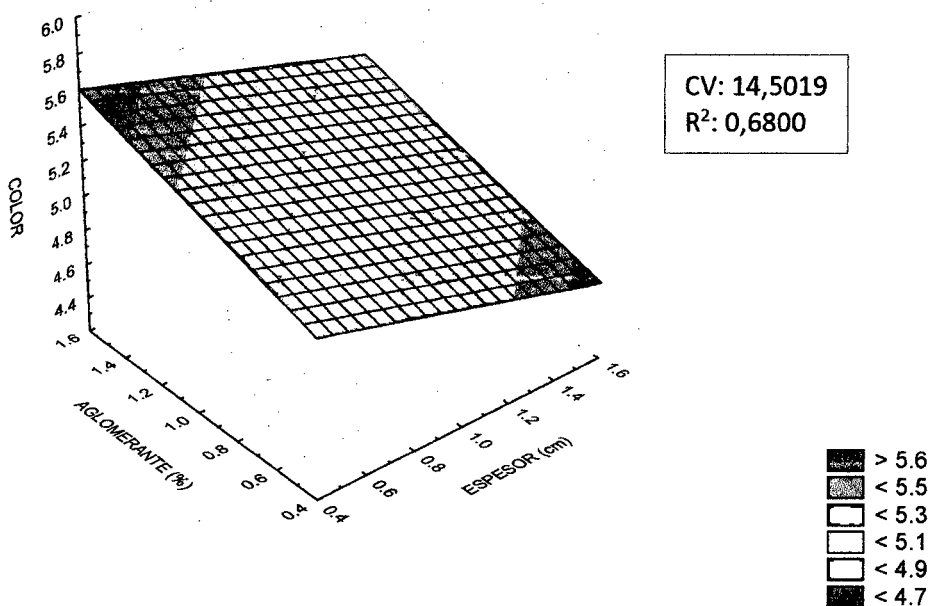


Figura N°39: Superficie de respuesta en el análisis de color de la pulpa de camu camu liofilizada por efecto del espesor y cantidad de aglomerante.

Fuente: Elaboración Propia (2015).

Y por último en la Figura N°40 se presenta la superficie de respuesta para el color también pero en función a la presión y cantidad de aglomerante, donde las franjas rojas se obtienen al interactuar y/o emplear presiones mínimas y cantidades de aglomerante máxima, donde se encuentran los tratamientos mejor aceptados por los panelistas, resultados que también coinciden con los resultados para conservar el color ya que se utilizan cantidades máximas de aglomerante y mínimas de presión.

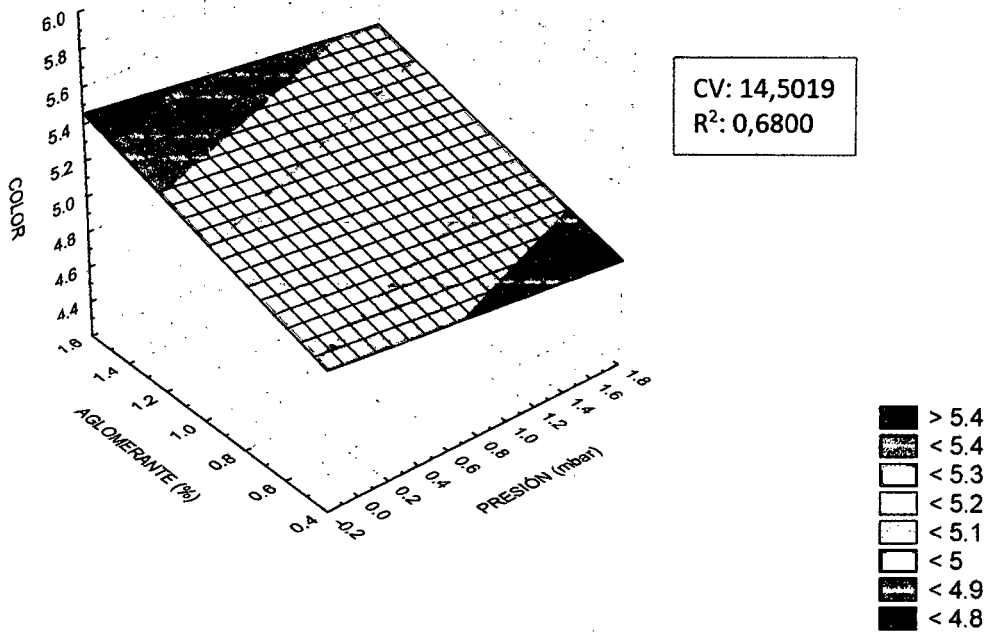


Figura N°40: Superficie de respuesta en el análisis de color de la pulpa de camu camu liofilizada por efecto de la presión y cantidad de aglomerante.

Fuente: Elaboración Propia (2015).

V. CONCLUSIONES

De acuerdo a los objetivos generales y específicos planteados las conclusiones son las siguientes:

- Se determinaron las condiciones adecuadas de procesamiento para la obtención de pulpa natural de camu camu liofilizada, ya que se obtuvo como resultado que a menores presiones y espesores se efectúa mejor la liofilización, obteniendo en menor tiempo (menor gasto de energía) una pulpa con 8,73 % de pérdida mínima de vitamina C, una HBS de 8,70 % y un IC de 33,85, recalcando que la muestra aún faltaba de llegar a valores menores de 5% para que posteriormente durante su almacenamiento pueda tener una mayor vida útil; asimismo este tratamiento N°1 (0,002 P x 0,5 E x 0,5 A) se consideró como el mejor si como prioridad de conservar la vitamina C tenemos; pero si nuestra prioridad es conservar el color y llegar a una humedad final mínima consideraremos al tratamiento N°2 (0,002 P x 0,5 E x 1,5 A) como mejor tratamiento con 5,74% de HBS, 12,74% de pérdida de vitamina C y un IC de 27,27.
- El empleo del agente aglomerante (goma arábica) sobre las características sensoriales y nutricionales de pulpa de camu camu liofilizada tiene influencia, ya que al agregar más de éste, se tiene un producto con mejor color y con similares características a las originales, pero con baja conservación de vitamina C; además a mayor cantidad, llegamos más rápidamente a una mínima humedad final.

- Se obtuvieron resultados aceptables al efectuar la caracterización físico-química y microbiológica del producto liofilizado (Tratamiento N°1: 0,002 P x 0,5 E x 0,5 A); asimismo los mejores tratamientos determinados en la evaluación sensorial coincidieron con los mejores tratamientos para la conservación de vitamina C y color, a pesar de tener un R^2 menor al 50 % (Olor y Apariencia General) que indica una baja variabilidad en los resultados de aceptación por los panelistas, y un R^2 de 68 % en el Color, observando en estos significancia entre sus tratamientos.

VI. RECOMENDACIONES

- Realizar estudios con otras cantidades de aglomerante, presión y espesor donde no solo se obtenga el rango aceptable sino buscar obtener valores más exactos para así conseguir los parámetros de control específicos para una liofilización efectiva.
- Buscar métodos adecuados para el pesado de las muestras durante la liofilización para la obtención de la cinética de secado, sin hacer pausas durante el proceso de liofilizado.
- Implementar en el laboratorio de investigación el equipo congelador de productos a liofilizar, que aplica técnicas de congelamiento, donde congela el producto en el mismo envase y a un espesor homogéneo para después ser liofilizado.
- Implementar los laboratorios, es decir, adquirir reactivos y equipos para realizar análisis de macro y micro nutrientes (vitaminas, minerales, hierro, calcio, etc.) en los alimentos.
- Incentivar a los estudiantes e realizar investigaciones y desarrollo de nuevos productos procesados mínimamente.

VII. BIBLIOGRAFÍA

1. **Acuña D. & Tesone D. (2004).** Efecto del Método de secado sobre las propiedades de color y viscosidad del gel de Aloe Vera (*Barbadensis miller*): Análisis comparativo entre la liofilización y el secado por aire caliente. Universidad de la Sabana. Chía – Colombia.
2. **Acker, L. (1961).** "Enzymatic reactions in foods of Low moisture content". Advances in Food Research. Academic Press. New York – U.S.A. N°11:37-40.
3. **Alves, R. E.; Almeida, CF. H.; Hebster, M. C. F.; Costa, A. N.C.; Silva, A. A. (2002).** camu camu (*Myrciaria dubia* Mc Vaugh): A Rich Natural Source of Vitamin C. Proc. Interamer. Soc. Trop. Hort. 46: pp. 11-13.
4. **A.O.A.C. (2000).** Official methods of analysis. [aut. libro] Association of Oficial Analytical Chemist. 17.
5. **Anandaraman, S y Reineccius, G. (1980).** Microencapsulation of flavour. Food flavorings, ingredients, packaging and processing. 23 (1): 14 – 18.
6. **Arévalo P. R.; Kieckbusch, T. (2006).** Concentración de ácido ascórbico en frutos de camu camu (*Myrciaria dubia* (H.B.K.) Mc Vaugh) provenientes de diferentes regiones de Sao Paulo. Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP.
7. **Arnaldos, J., B. Kozanoglu y J. Casal (1998).** "Vacuum Fluidization: Application to Drying", en "Proceedings of the IXth International Fluidization Conference", editado por L.-S. Fan y T.M. Knowlton, publicado por Fundación de Ingeniería, 709-716, Nueva York.
8. **Association of Official Analytical Chemists (1984).** Official Method of Analysis, 14th ed., pp.844-846, AOAC. Virginia (U.S.A).
9. **Badui, S. (1984).** Química de los Alimentos. Editorial Alhambra Mexicana. Mexico. 430p.

10. **Badui, S. (2006).** Química de los Alimentos. Cuarta Edición. Editorial Alhambra Mexicana. Mexico. 100p.
11. **Bejarano, E. y Bravo M., et al. (1990).** Tabla de composición de alimentos industrializados. Ministerio de Salud, Instituto Nacional de Nutrición, Lima-Perú.
12. **Braverman, J. (1980).** Introducción a la Bioquímica de los Alimentos. Editorial El Manual Moderno. España.
13. **Ceballos A. M. (2008).** Estudio Comparativo de Tres Sistemas de Secado para La Producción de un Polvo Deshidratado de Fruta (Tesis de Grado). Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.
14. **Correa I. (2000).** Cultivo de camu camu *Myrciaria dubia* H.B.K. en la región Loreto. Dirección de Transferencia de Tecnología Agraria-INIA. Lima-Perú.
15. **Dostert N., et al. (2009).** Factsheet: Datos botánicos de camu camu (*Myrciaria dubia*). Proyecto Perúbiodiverso (PBD). Primera Edición. Lima - Perú.
16. **Enciso, R.; Villachica, H. (1993).** Producción y manejo de plantas injertadas de camu camu (*Myrciaria dubia*) en vivero. Informe Técnico N°25. Programa de Investigación en Cultivos Tropicales. INIA. Lima. 20p.
17. **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.
18. **Fennema, O. (1985).** Química de los Alimentos. Editorial Acribia S.A. Zaragoza – España.
19. **Fennema, O. (1993).** Química de los Alimentos. Editorial Acribia S.A. Zaragoza – España.
20. **Fennema, O. (2000).** Química de los Alimentos. Segunda Edición. Editorial Acribia S.A. Zaragoza – España.
21. **Fernandez, M. y Piñero, B. (2006).** Superficie de Respuestas, Métodos y Diseño. s.l.: Mancher.
22. **Flink, F. y Karel, A. (1972).** Mechanisms of Retention of Organic Volatils in Freeze-dried Systems. Journal of Food Technology (7): 199-204.

23. **García, C.; Castro, D.; Chota, W.; Ruiz, A.; Sandoval, M. (2007).** Estudio preliminar del contenido de ácido ascórbico y caracterización genética del camu camu. Memoria institucional – IIAP.
24. **García Y., Hernández A., et al. (2011).** Estudio de la variación del Índice de Color durante la conservación de la piña variedad Cayena Lisa a temperatura ambiente. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, Vol. 20 N°4. Universidad Agraria La Habana, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.
25. **Geankopolis, C. J. (1998).** Procesos de Transporte y operaciones unitarias. México D.F.: Continental S.A., págs. 580-585.
26. **Goldblith, S.; Rey, L. y Rothmayr, W. (1975).** Freeze Drying and Advanced Technology. Academic Press. Londres. 730p.
27. **Guija, H.; Troncoso, L.; Guija, E. (2005).** Propiedades prooxidantes del camu camu (*Myrciaria dubia*). Anales de la Facultad de Medicina Universidad Nacional Mayor de San Marcos. 66(4): pp. 261-268.
28. **Hernández E. (2005).** Guía de Evaluación Sensorial. 1era Edición. Universidad Abierta y a Distancia (UNAD). Bogotá – Colombia.
29. **Hernández C.; Ossa Z.; Ramírez L. & Herrera W. (2011).** Influencia del espesor y la temperatura en el secado de carambola (*Averrhoa carambola L.*). Artículo de la Universidad de la Amazonía – Florencia – Caquetá.
30. **Horacio & Thamara (2007).** Ácido ascórbico: desde la química hasta su crucial función protectora en ojo. Acta bioquímica. Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba – Argentina.
31. **Huapaya, E. (1994).** Determinación de la pérdida de vitamina C durante el Procesamiento y Almacenamiento de la pulpa de Camu Camu. Tesis para optar el Título de Ingeniero en Industrias Alimentarias. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima – Perú.
32. **Imán C., S.; Melchor, M. (2005).** Enraizamiento por acodo aéreo en camu camu (*Myrciaria dubia*) para propagación vegetativa, INFOINIEA (Instituto Nacional de Investigación y Extensión Agraria) Nro 07-2005.
33. **ITESCAM. (2002).** Instituto Tecnológico Superior de Calkiní en el Estado de Campeche Área: Tecnología de Alimentos. Tema: Deshidratación: secado y liofilización. [On line].

<http://www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r46891.PDF>
visitada 05-2013.)

34. **Justi KC, Visentainer JV, Evelazio de Souza N, Matsushita M. (2000).** Nutritional composition and vitamin C stability in stored camu camu (*Myrciaria dubia*) pulp. Arch Latinoam Nutr. 50(4):pp. 405-408.
35. **King, C. (1971).** Freeze-Drying of Foods. CRC. Press. Chemical Rubber Co., Cleveland. Ohio. EE.UU. 86p.
36. **Klinar, B. S.; Chang, C. A.; Chanllío, L. J. (2009).** Evaluación comparativa de contenido de vitamina C en diferentes estados de maduración del fruto de camu camu (*Myrciaria dubia* (H.B.K.) McVaugh) según NTP 011:030:2007. FITOICA Revista Científica. 4(1): pp. 2332.
37. **Klinar B. S.; Chang, C. A.; Chanllío, L. J. (2009).** "Evaluación comparative del contenido de vitamina C en frutos de camu camu *Myrciaria dubia* (H.B.K.) McVaugh, maracuyá *Pasiflora edulis* Sims y cocona *Solanum sessiflorum* Dunal". FITOICA Revista Científica. En Prensa.
38. **Klinar B. S.; Chang, C. A.; Chanllío, L. J. (2009).** Evaluación de la actividad antioxidante de *Myrciaria dubia* (H.B.K.) McVaugh "camu camu". FITOICA Revista Científica. 4 (1): pp. 12-22.
39. **Labconco Corporation (2007).** User's Manual. FreeZone 6, 12 and 18 Liter. Freeze Dry Systems. Kansas city – EE.UU.
40. **Labuza, T.; Cassil, S. y Sinskey, A. (1972).** Stability of intermediate moisture Foods. Journal of Foods science. 37: 160 – 165.
41. **López U. A. & C. Linares B. (2007).** Cultivo de camu camu en suelos aluviales de Ucayali. Folleto técnico. Pucallpa - Perú.
42. **Mahecha J. (2011).** Determinación de los parámetros para la simulación matemática del proceso de deshidratación de la Uchuva (*Physalis Peruviana* L.). Proyecto de grado para optar Título profesional. Universidad Nacional de Colombia – Bogotá – Colombia.
43. **Maeda, R. N.; Pantoja, L.; Yuyama, O. L. K.; Chaar, J. M. (2006).** Determinação da formulação e caracterização do néctar de camu camu (*Myrciaria dubia* McVaugh). Ciênc. Tecnol. Aliment. 26(1): pp. 70-74.
44. **Manayay, D. (1992).** Simulación de la variación de contenido de Vitamina C, en el almacenaje de confitado de Piña (*Anaëas comosus*) de humedad

- intermedia. Tesis para optar el Grado de Magister Scientiae. UNALM. Lima – Perú.
45. **Minolta Co., Ltd (2002)**. Konika Minolta: CR400/410. Japón.
 46. **Minolta (2013)**. Konika Minolta CR 400. Catálogo de Colorímetros. [On line] (<http://sensing.konicaminolta.com.mx>), visitada el 10-06-2013.
 47. **MINSA/DIGESA (2008)**. Ministerio de Salud / Dirección General de Salud Ambiental. Norma Técnica Sanitaria sobre criterios microbiológicos de calidad sanitaria e inocuidad para los alimentos y bebidas de consumo humano. Resolución Ministerial N°591-2008/MINSA.
 48. **Montes A. (2002)**. Proyecto camu camu. *Área de Ingeniería*. 2-4. [On line] (<http://es.scribd.com/doc/16516264/BIO42B-Ingenieria-Proyecto-camu-camuAugusto-Montes> visitada 05-2013).
 49. **Nollet, L. M. (1996)**. Hanbook of food analysis. New York: M. Dekker, 1996.
 50. **Norma Técnica Peruana – NTP011.0312007 (2007)**. Productos naturales. Pulpa de camu camu (*Myrciaria dubia* H.B.K. Mc Vaugh). Definiciones y requisitos.
 51. **Norma técnica Peruana – NTP011.0302007 (2007)**. Productos naturales. Camu camu (*Myrciaria dubia* H.B.K. Mc Vaugh). Definiciones, clasificación y requisitos.
 52. **Parzanese M. (2008)**. Liofilización de Alimentos. Alimentos Argentinos - MinAgri: Tecnologías para la Industria Alimentaria. Ficha N°3, 1-10.
 53. **Pérez, N. (2010)**. Estudio teórico y experimental de la liofilización de locos (*concholepas concholepas*) (tesis de pregrado). Universidad de Santiago de Chile. Facultad de ingeniería. Santiago, Chile.
 54. **Pinedo M. et al. (2001)**. Sistema de producción del camu camu en restinga. Manual Técnico IIAP. Iquitos-Perú.
 55. **Pino, P. (2003)**. Introducción al Secado de Alimentos por Aire Caliente. 1a.ed. Valencia-España: UPV. Pp. 39-48.
 56. **Piña M. R. (2006)**. Metodología robusta para Superficie de Respuestas. (Programa Doctoral). Instituto Tecnológico de Ciudad de Juárez, México.
 57. **Ramos Z. (2002)**. Evaluación de factores de procesamiento y conservación de pulpa de *Myrciaria dubia* H.B.K. (camu camu) que

- reducen el contenido de vitamina C (Ácido Ascórbico). (Tesis de Grado). IAP & UNAP - Iquitos, Perú.
58. **Ramos, A. Z.; García, P. L.; Pinedo, P. M.; Souza N. R. (2002).** Evaluación de factores de procesamiento y conservación de pulpa de *Myrciaria dubia* H.B.K. (camu camu) que reducen el contenido de vitamina c (ácido ascórbico). *Revista Amazónica de Investigación Alimentaria*. 2 (2): p. 89 – 99.
 59. **Rengifo E. (2009).** Monografía: camu camu – *Myrciaria dubia* (H.B.K.) Mac Vaugh. *PerúBiodiverso*. Lima, Perú.
 60. **Reyna, L.; Flores, R.; Ramírez I.; et al. (2013).** Determinación del contenido de ácido ascórbico en camu camu, secado por liofilización. *Rev. Per. Ing. Quím.* Vol 16 N°2. Págs. 60-63.
 61. **Riva R. y Gonzales I. (1997).** Tecnología del cultivo de camu camu en la Amazonía peruana. Editorial INIA. Pucallpa-Perú.
 62. **Rojas T. A. & Alegría M. C. (2005).** Influencia de los encapsulantes: Goma Arábica y dextrina sobre la calidad del camu camu (*Myrciaria dubia*) liofilizado. *Anales Científicos Vol. LXI*. Universidad Agraria la Molina – UNALM. Lima, Perú.
 63. **Salas N., Estrada A., Lengua R., et al. (2009).** Proceso para obtener bebida nutracéutica a partir de *Myrciaria Dubia* (camu camu), orientado a reducir efecto genotóxico en niños de edad escolar. *Rev. Per. Quím. Ing.* Quím. Vol. 12 N°2. Pág.34-41.
 64. **Sotero, S. V. E.; García, DS. D. E.; Velasco, C. E. (2007).** Estabilidad del ácido ascórbico en pulpa deshidratada de camu camu (*Myrciaria dubia* HBK Mc Vaugh) a diferentes temperaturas. *Folia Amazónica*. 16(1): pp. 75-79.
 65. **Sotero, S. V.; Silva, D. L.; García, DS. D.; Imán, C. S.; (2009).** Evaluación de la actividad antioxidante de pulpa, cáscara y semilla del fruto de camu camu. *Revista de la Sociedad Química del Perú*. 75 (3).
 66. **Sotomayor, C. P. G. (2000).** Influencia de los Encapsulantes y las Temperaturas de Secado en la Calidad del camu camu (*Myrciaria dubia*) Liofilizado. UNALM. Facultad de Industrias Alimentarias. Lima-Perú.
 67. **Thompson, A. K. (1998).** Tecnología post-cosecha de frutas y hortalizas: Servicio Nacional de Aprendizaje. Editorial Kinesis, Convenio SENA-

Reino Unido, producido con el apoyo del Servicio Nacional de Aprendizaje de Colombia (SENA), el Departamento para el Desarrollo Internacional y el Instituto de Recursos Naturales del Reino Unido, 268pp. Armenia, Colombia.

68. **Torres V. (2010).** Determinación del potencial Nutritivo y Funcional de Guayaba (*Psidium guajva* L.), Cocona (*Solanum sessiliflorum* Dunal), Camu camu (*Myrciaria dubia* Vaugh). Quito – Ecuador.
69. **Valverde S.; Amurrio D. (2010).** Secado en espuma de jugo de camu camu (*Myrciaria dubia*) y plátano (*Musa sp.*). Universidad Boliviana San Pablo – Cochabamba – Bolivia.
70. **Vásquez M. A. (2000).** El camu camu; cultivo, manejo e investigaciones. Editora Gráfica e Imprenta Universal SRL. Iquitos-Perú.
71. **Vega R. (2000).** Valor agregado en camu camu. Informe final de investigación, IIAP Pucallpa, Perú.
72. **Vega R. (2001).** Valor agregado en camu camu. Informe final de investigación, IIAP Pucallpa, Perú.
73. **Vega R. (2005).** Liofilización de Pulpa de *Myrciaria dubia* HBK Mc Vaugh, camu camu. Folia Amazónica 14, 51–56.
74. **Vignoni L. Césari R., et al. (2006).** Determinación de Índice de Color en Ajo Picado. Información Tecnológica-Vol. 17 N°6, Pág.: 63-67. Universidad Nacional de Cuyo – Argentina.
75. **Villachica, H. (1996).** El cultivo de camu camu (*Myrciaria dubia*) en la Amazonía peruana. TCA (Tratado de Cooperación Amazónico). Secretaría Pro Tempore. Lima – Perú.
76. **Villegas, V. L.; Díaz, C.; Medina, N.; Yucra, S.; Chavez, S.; Mamani, T. (2007).** Departamento de ciencias farmacéuticas, Servicio de Control de Calidad – LID, Facultad de Ciencias y Filosofía. Proyecto CONCYTEC: PROCYT 389 – 2007: “Valorizando al maíz morado y al camu camu de tres zonas de cultivo: Fitoquímica, evaluación farmacológica y toxicológica.
77. **Waananen, K.M., Litchfield, J.B., Okos, M.R. (1993).** Classification of Drying Models for Porous Solids. Drying Technology, 11(1): 1-40.
78. **Yuyama, K.; Aguiar, J.; Yuyama, L. (2002).** Camu camu fruit, a fantastic source of vitamin C. Acta Amazonica, 32 (1): pp 169 - 174.

79. **Yuyama, O. L.K.; Rosa, D. R.; Aguiar, L. P. J.; Nagahama, D.; Alencar, H. F.; Yuyama, K.; Cordeiro, DO. G. W.; Marques, DO. H. (2002).** Açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) e camu camu (*Myrciaria dubia* (H.B.K.) Mc Vaugh) possuem ação anti anêmica?. *Acta amazônica*. 32(4): 625-633.
80. **Zapata, S. M.; Dufour, J-P. (1993).** Camu camu *Myrciaria dubia* (HBK) McVaugh: Chemical Composition of Fruit. *J Sci Food Agric*. 61: pp. 349-351.

VIII. ANEXOS

ANEXO N°1: Análisis de Varianza (ANVA) Y prueba de Tukey para el Índice de Color de los 8 tratamientos de pulpa de camu camu liofilizada.

Fuente Variación	Grado de Libertad	Suma de Cuadrado	Suma de Cuadrado Medio	F valor	F ($\alpha=0.05$)	
Bloques	2	25,6542	12,8271	1,73	0,2132	n.s.
Tratamientos	7	251,7721	35,9674	4,85	0,0059	*
a (Espesor)	1	18,7797	18,7797	2,53	0,1339	n.s.
b (Presión)	1	1,3207	1,3207	0,18	0,6794	n.s.
c (Aglom.)	1	93,6545	93,6545	12,63	0,0032	*
a x b	1	6,3140	6,3140	0,85	0,3718	n.s.
a x c	1	104,5420	104,5420	14,09	0,0021	*
b x c	1	25,5647	25,5647	3,45	0,0845	n.s.
a x b x c	1	1,5965	1,5965	0,22	0,6498	n.s.
Error	14	103,8378	7,4170			
Total	23	381,2642				

R-Cuadrado (R ²)	Coefficiente de Variación	Raíz MSE	Media
0,7276	8,9514	2,7234	30,4246

Experimento Bifactorial 2*3 con Arreglo Combinatorio y DCA Proceso del ANOVA

Prueba Tukey para Índice de color de la pulpa liofilizada

Alpha	0,05
Error Grados de Libertad	14
Error Cuadrado Medio	7,416988
Valor crítico para el rango de estudio	4,99029
Diferencia Mínima Significativa	7,8466

Promedios con la misma letra no son significativamente diferentes

Grupo Tukey	Promedio	N	Tratamiento
A	36,89	3	T3
B A	33,85	3	T1
B A	31,22	3	T6
B A	30,44	3	T7
B	28,42	3	T5
B	28,08	3	T8
B	27,27	3	T2
B	27,22	3	T4

Fuente: Elaboración propia (2015).

ANEXO N°2: Análisis de Varianza (ANVA) Y prueba de Tukey para la pérdida de vitamina C de los 8 tratamientos de pulpa de camu camu liofilizada.

Fuente Variación	Grado de Libertad	Suma de Cuadrado	Suma de Cuadrado Medio	F valor	F ($\alpha=0.05$)	
Bloques	2	3,6634	1,8317	1,27	0,3121	n.s.
Tratamientos	7	436,7365	62,3909	43,15	0,0001	**
a (Espesor)	1	206,7473	206,7473	142,98	0,0001	**
b (Presión)	1	81,1551	81,1551	56,12	0,0001	**
c (Aglom.)	1	69,3974	69,3974	47,99	0,0001	**
a x b	1	73,4755	73,4755	50,81	0,0001	**
a x c	1	1,0446	1,0446	0,72	0,4097	n.s.
b x c	1	3,1967	3,1967	2,21	0,1592	n.s.
a x b x c	1	1,7200	1,7200	1,19	0,2939	n.s.
Error	14	20,2445	1,4460			
Total	23	460,6444				

R-Cuadrado (R ²)	Coefficiente de Variación	Raíz MSE	Media
0.9561	6,9667	1,2025	17,2610

Experimento Bifactorial 2*3 con Arreglo Combinatorio y DCA

Proceso del ANOVA

Prueba Tukey para la perdida de vitamina C de la pulpa liofilizada

Alpha	0,05
Error Grados de Libertad	14
Error Cuadrado Medio	1,446035
Valor crítico para el rango de estudio	4,99029
Diferencia Mínima Significativa	3,4646

Promedios con la misma letra no son significativamente diferentes

Grupo Tukey	Promedio	N	Tratamiento
A	22,23	3	T6
B A	21,14	3	T8
B A	19,73	3	T4
B A C	19,43	3	T7
B C	17,98	3	T5
D C	16,10	3	T3
D	12,74	3	T2
E	8,73	3	T1

Fuente: Elaboración propia (2015).

ANEXO N°3: Análisis de Varianza (ANVA) Y prueba de Tukey para el atributo de olor en la evaluación sensorial de los 8 tratamientos de pulpa de camu camu liofilizada.

Fuente Variación	Grado de Libertad	Suma de Cuadrado	Suma de Cuadrado Medio	F valor	F ($\alpha=0.05$)	
Bloques	9	20,7625	2,3069	4,28	0,0002	**
Tratamientos	7	3,1875	0,4554	0,85	0,5543	n.s.
a (Espesor)	1	0,0125	0,0125	0,02	0,8794	n.s.
b (Presión)	1	0,1125	0,1125	0,21	0,6493	n.s.
c (Aglom.)	1	0,3125	0,3125	0,58	0,4491	n.s.
a x b	1	0,3125	0,3125	0,58	0,4491	n.s.
a x c	1	2,1125	2,1125	3,92	0,0520	n.s.
b x c	1	0,3125	0,3125	0,58	0,4491	n.s.
a x b x c	1	0,0125	0,0125	0,02	0,8794	n.s.
Error	63	33,9375	0,5387			
Total	79	57,8875				

R-Cuadrado (R ²)	Coefficiente de Variación	Raíz MSE	Media
0,4137	13,4363	0,7340	5,4625

**Experimento Bifactorial 2*3 con Arreglo Combinatorio y DCA
Proceso del ANOVA**

Prueba Tukey para el atributo de olor en la evaluación sensorial de la pulpa liofilizada

Alpha	0,05
Error Grados de Libertad	63
Error Cuadrado Medio	0,53869
Valor crítico para el rango de estudio	4,43358
Diferencia Mínima Significativa	1,029

Promedios con la misma letra no son significativamente diferentes

Grupo Tukey	Promedio	N	Tratamiento
A	5,80	10	T5
A	5,70	10	T2
A	5,60	10	T3
A	5,40	10	T8
A	5,40	10	T1
A	5,30	10	T4
A	5,30	10	T7
A	5,20	10	T6

Fuente: Elaboración propia (2015).

ANEXO N°4: Análisis de Varianza (ANVA) Y prueba de Tukey para el atributo de color en la evaluación sensorial de los 8 tratamientos de pulpa de camu camu liofilizada.

Fuente Variación	Grado de Libertad	Suma de Cuadrado	Suma de Cuadrado Medio	F valor	F ($\alpha=0.05$)	
Bloques	9	55,0000	6,1111	11,06	0,0001	**
Tratamientos	7	18,9500	2,7071	4,90	0,0002	**
a (Espesor)	1	3,2000	3,2000	5,79	0,0190	*
b (Presión)	1	5,0000	5,0000	9,05	0,0038	*
c (Aglom.)	1	3,2000	3,2000	5,79	0,0190	*
a x b	1	0,4500	0,4500	0,81	0,3702	n.s.
a x c	1	4,0500	4,0500	7,33	0,0087	*
b x c	1	1,2500	1,2500	2,26	0,1375	n.s.
a x b x c	1	1,8000	1,8000	3,26	0,0758	n.s.
Error	63	34,8000	0,5524			
Total	79	108,7500				

R-Cuadrado (R^2)	Coficiente de Variación	Raíz MSE	Media
0,6800	14,5019	0,7432	5,1250

Experimento Bifactorial 2*3 con Arreglo Combinatorio y DCA

Proceso del ANOVA

Prueba Tukey para el atributo de color en la evaluación sensorial de la pulpa liofilizada

Alpha	0,05
Error Grados de Libertad	63
Error Cuadrado Medio	0,552381
Valor crítico para el rango de estudio	4,43358
Diferencia Mínima Significativa	1,042

Promedios con la misma letra no son significativamente diferentes

Grupo Tukey	Promedio	N	Tratamiento
A	5,90	10	T2
B A	5,50	10	T4
B A	5,40	10	T1
B A C	5,30	10	T7
B A C	5,20	10	T6
B C	4,70	10	T3
B C	4,70	10	T8
C	4,30	10	T5

Fuente: Elaboración propia (2015).

ANEXO N°5: Análisis de Varianza (ANVA) Y prueba de Tukey para el atributo de apariencia general en la evaluación sensorial de los 8 tratamientos de pulpa de camu camu liofilizada.

Fuente Variación	Grado de Libertad	Suma de Cuadrado	Suma de Cuadrado Medio	F valor	F ($\alpha=0.05$)	
Bloques	9	32,1125	3,5681	3,89	0,0006	**
Tratamientos	7	19,5875	2,7982	3,05	0,0079	*
a (Espesor)	1	3,6125	3,6125	3,94	0,0516	n.s.
b (Presión)	1	1,5125	1,5125	1,65	0,2038	n.s.
c (Aglom.)	1	6,6125	6,6125	7,21	0,0093	*
a x b	1	1,5125	1,5125	1,65	0,2038	n.s.
a x c	1	2,1125	2,1125	2,30	0,1341	n.s.
b x c	1	2,1125	2,1125	2,30	0,1341	n.s.
a x b x c	1	2,1125	2,1125	2,30	0,1341	n.s.
Error	63	57,7875	0,9173			
Total	79	109,4875				

R-Cuadrado (R ²)	Coefficiente de Variación	Raíz MSE	Media
0,4722	19,6964	0,9577	4,8625

Experimento Bifactorial 2*3 con Arreglo Combinatorio y DCA

Proceso del ANOVA

Prueba Tukey para el atributo de apariencia general en la evaluación sensorial de la pulpa liofilizada

Alpha	0,05
Error Grados de Libertad	63
Error Cuadrado Medio	0,917262
Valor crítico para el rango de estudio	4,43358
Diferencia Mínima Significativa	1,3428

Promedios con la misma letra no son significativamente diferentes

Grupo Tukey	Promedio	N	Tratamiento
A	5,80	10	T2
B A	5,10	10	T4
B A	5,10	10	T6
B A	5,00	10	T7
B A	4,90	10	T1
B A	4,60	10	T8
B	4,20	10	T5
B	4,20	10	T3

Fuente: Elaboración propia (2015).

ANEXO N°6: Ficha para evaluar el atributo de olor en el análisis sensorial de la pulpa de camu camu liofilizado.

NOMBRE..... FECHA.....

NOMBRE DEL PRODUCTO.....

*Frente a usted hay ocho muestras codificadas de camu camu liofilizado, las cuales se deben probar una a la vez y marque con una X su juicio sobre cada muestra, en base a su **olor**.*

N°	ESCALA	MUESTRAS							
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
7	Me gusta mucho								
6	Me gusta bastante								
5	Me gusta ligeramente								
4	Ni me gusta ni me disgusta								
3	Me disgusta ligeramente								
2	Me disgusta bastante								
1	Me disgusta mucho								

COMENTARIOS

.....

.....

.....

.....

.....

.....

¡MUCHAS GRACIAS!

Fuente: Elaboración propia (2015).

ANEXO N°7: Ficha para evaluar el atributo de color en el análisis sensorial de la pulpa de camu camu liofilizado.

NOMBRE..... FECHA.....

NOMBRE DEL PRODUCTO.....

Frente a usted hay ocho muestras codificadas de camu camu liofilizado, las cuales se deben probar una a la vez y marque con una X su juicio sobre cada muestra, en base a su color.

N°	ESCALA	MUESTRAS							
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
7	Me gusta mucho								
6	Me gusta bastante								
5	Me gusta ligeramente								
4	Ni me gusta ni me disgusta								
3	Me disgusta ligeramente								
2	Me disgusta bastante								
1	Me disgusta mucho								

COMENTARIOS

.....

.....

.....

.....

.....

.....

¡MUCHAS GRACIAS!

Fuente: Elaboración propia (2015).

ANEXO N°8: Ficha para evaluar el atributo de apariencia general en el análisis sensorial de la pulpa de camu camu liofilizado.

NOMBRE..... FECHA.....

NOMBRE DEL PRODUCTO.....

*Frente a usted hay ocho muestras codificadas de camu camu liofilizado, las cuales se deben probar una a la vez y marque con una X su juicio sobre cada muestra, en base a su **apariencia general**.*

N°	ESCALA	MUESTRAS							
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
7	Me gusta mucho								
6	Me gusta bastante								
5	Me gusta ligeramente								
4	Ni me gusta ni me disgusta								
3	Me disgusta ligeramente								
2	Me disgusta bastante								
1	Me disgusta mucho								

COMENTARIOS

.....

.....

.....

.....

.....

¡MUCHAS GRACIAS!

Fuente: Elaboración propia (2015).

ANEXO N°9: Espacio e Inter espacio de color CIE (L*a*b*)

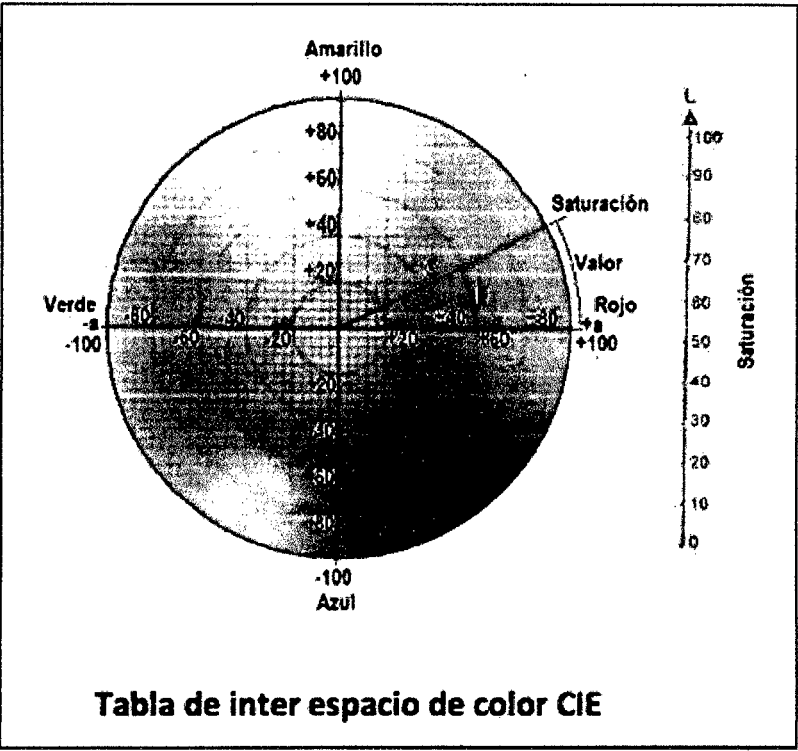
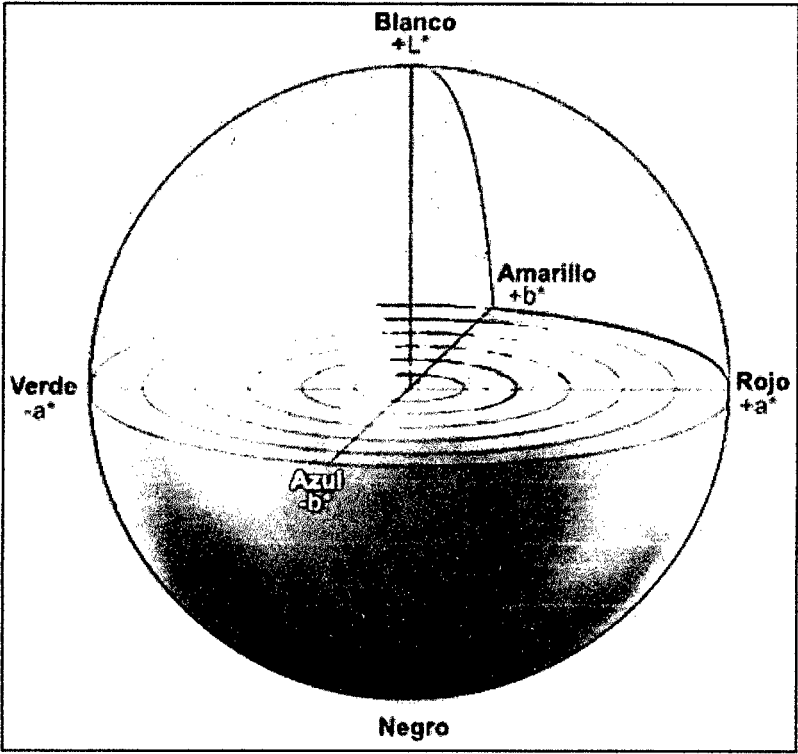


Tabla de inter espacio de color CIE

ANEXO N°10: Humedades en Base Seca (HBS) de los tratamientos de pulpa de camu camu en función a 14 horas de liofilizado

N° TRATAMIENTO	Espesor (cm)	Presión (mbar)	Aglomerante (%)	Humedad en Base Seca (%)
1	0,5	0,002	0,5	8,70
2	0,5	0,002	1,5	5,74
3	0,5	1,650	0,5	8,37
4	0,5	1,650	1,5	7,11
5	1,5	1,650	0,5	11,78
6	1,5	1,650	1,5	10,92
7	1,5	0,002	0,5	13,47
8	1,5	0,002	1,5	11,67

NOTA: Los tratamientos sombreados son los que contienen cantidades máximas de aglomerante (1.5 %) y presentan HBS mínimas.

Fuentes: Elaboración Propia (2015).

ANEXO N° 11: Cuadro de datos de humedades en base seca medias, y velocidades se secado de los 8 tratamientos.

Tiempo (h)	Tratamiento N°01				Tratamiento N°02				Tratamiento N°03				Tratamiento N°04				Tratamiento N°05				Tratamiento N°06				Tratamiento N°07				Tratamiento N°08			
	Hbs1 (kg H ₂ O/kg s)	Hbs1	X media	R (Kg/h m ²)	Hbs2 (kg H ₂ O/kg s)	Hbs2	X media	R (Kg/h m ²)	Hbs3 (kg H ₂ O/kg s)	Hbs3	X media	R (Kg/h m ²)	Hbs4 (kg H ₂ O/kg s)	Hbs4	X media	R (Kg/h m ²)	Hbs5 (kg H ₂ O/kg s)	Hbs5	X media	R (Kg/h m ²)	Hbs6 (kg H ₂ O/kg s)	Hbs6	X media	R (Kg/h m ²)	Hbs7 (kg H ₂ O/kg s)	Hbs7	X media	R (Kg/h m ²)	Hbs8 (kg H ₂ O/kg s)	Hbs8	X media	R (Kg/h m ²)
0	17,88	1,00	0,88	0,14	14,83	1,00	0,91	0,12	17,19	1,00	0,92	0,09	15,56	1,00	0,93	0,09	21,23	1,00	0,94	0,17	16,27	1,00	0,89	0,27	20,40	1,00	0,96	0,12	15,41	1,00	0,97	0,11
0,5	13,47	0,75	0,68	0,08	12,19	0,82	0,76	0,08	14,50	0,84	0,79	0,07	13,33	0,86	0,80	0,07	18,58	0,88	0,85	0,08	13,75	0,85	0,79	0,10	18,69	0,92	0,88	0,09	14,52	0,94	0,91	0,11
1	10,92	0,61	0,55	0,06	10,45	0,70	0,65	0,07	12,55	0,73	0,67	0,07	11,70	0,75	0,69	0,08	17,38	0,82	0,79	0,08	12,80	0,79	0,73	0,10	17,38	0,85	0,84	0,04	13,60	0,88	0,86	0,07
1,5	8,88	0,50	0,41	0,09	8,82	0,59	0,54	0,07	10,48	0,61	0,54	0,08	9,73	0,63	0,55	0,10	16,14	0,76	0,73	0,08	11,87	0,73	0,62	0,10	16,76	0,82	0,80	0,07	12,98	0,84	0,81	0,11
2	5,93	0,33	0,25	0,05	7,30	0,49	0,39	0,07	8,02	0,47	0,36	0,06	7,26	0,47	0,38	0,06	14,87	0,70	0,65	0,07	10,90	0,67	0,56	0,14	15,74	0,77	0,71	0,08	12,09	0,78	0,74	0,09
3	2,97	0,17	0,12	0,03	4,24	0,29	0,21	0,05	4,46	0,26	0,19	0,04	4,48	0,29	0,20	0,05	12,62	0,59	0,52	0,10	8,27	0,51	0,43	0,06	13,42	0,66	0,63	0,05	10,63	0,69	0,65	0,08
4	1,23	0,07	0,05	0,01	2,04	0,14	0,08	0,04	2,11	0,12	0,08	0,03	1,90	0,12	0,08	0,03	9,54	0,45	0,40	0,07	7,20	0,44	0,35	0,09	12,12	0,59	0,53	0,09	9,25	0,60	0,54	0,10
5	0,40	0,02	0,02	0,00	0,43	0,03	0,02	0,00	0,55	0,03	0,02	0,00	0,49	0,03	0,02	0,01	7,25	0,34	0,29	0,06	5,56	0,34	0,26	0,07	9,64	0,47	0,43	0,07	7,53	0,49	0,44	0,09
6	0,19	0,01	0,01	0,00	0,22	0,01	0,01	0,00	0,27	0,02	0,01	0,00	0,13	0,01	0,01	0,00	5,22	0,25	0,21	0,05	4,34	0,27	0,20	0,07	7,73	0,38	0,33	0,07	6,02	0,39	0,35	0,08
7	0,11	0,01	0,01	0,00	0,11	0,01	0,01	0,00	0,15	0,01	0,01	0,00	0,11	0,01	0,01	0,00	3,80	0,18	0,14	0,05	2,99	0,18	0,13	0,05	5,78	0,28	0,25	0,05	4,73	0,31	0,27	0,07
8	0,10	0,01	0,01	0,00	0,08	0,01	0,01	0,00	0,11	0,01	0,01	0,00	0,11	0,01	0,01	0,00	2,18	0,10	0,07	0,04	2,14	0,13	0,09	0,05	4,39	0,22	0,18	0,05	3,56	0,23	0,20	0,06
9	0,10	0,01	0,01	0,00	0,08	0,01	0,01	0,00	0,11	0,01	0,01	0,00	0,09	0,01	0,01	0,00	0,91	0,04	0,03	0,02	1,28	0,08	0,05	0,03	3,04	0,15	0,12	0,04	2,63	0,17	0,14	0,05
10	0,10	0,01	0,01	0,00	0,08	0,01	0,00	0,00	0,11	0,01	0,01	0,00	0,09	0,01	0,01	0,00	0,36	0,02	0,01	0,01	0,74	0,05	0,03	0,02	1,89	0,09	0,07	0,03	1,82	0,12	0,10	0,04
11	0,10	0,01	0,01	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,09	0,01	0,01	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	0,16	0,01	0,01	0,00	0,36	0,02	0,01	0,01	0,99	0,05	0,03	0,02	1,18	0,08	0,06	0,03
12	0,10	0,01	0,01	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,09	0,01	0,01	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	0,13	0,01	0,01	0,00	0,21	0,01	0,01	0,00	0,43	0,02	0,02	0,01	0,67	0,04	0,03	0,02
13	0,10	0,01	0,01	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,09	0,01	0,01	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	0,13	0,01	0,01	0,00	0,12	0,01	0,00	0,00	0,20	0,01	0,01	0,00	0,31	0,02	0,01	0,01
14	0,10	0,01			0,06	0,00			0,09	0,01			0,08	0,00			0,13	0,01			0,12	0,01			0,16	0,01			0,13	0,01		
SST.	2,65				3,16				2,75				3,02				2,25				2,90				2,34				3,05			
Hbs (%)	8,70				5,74				8,37				7,11				11,78				10,92				13,47				11,67			
SST. (%)	91,3				94,26				91,63				92,89				88,22				89,08				86,53				88,33			

ÁREA DE e: 0.5 (m²) : 0,0095

ÁREA DE e: 1.5 (m²) : 0,0033

Humedad equilibrio : 0,1

Fuente: Elaboración Propia (2015).

ANEXO N°12: Arbusto de camu camu



ANEXO N°13: Frutos de camu camu



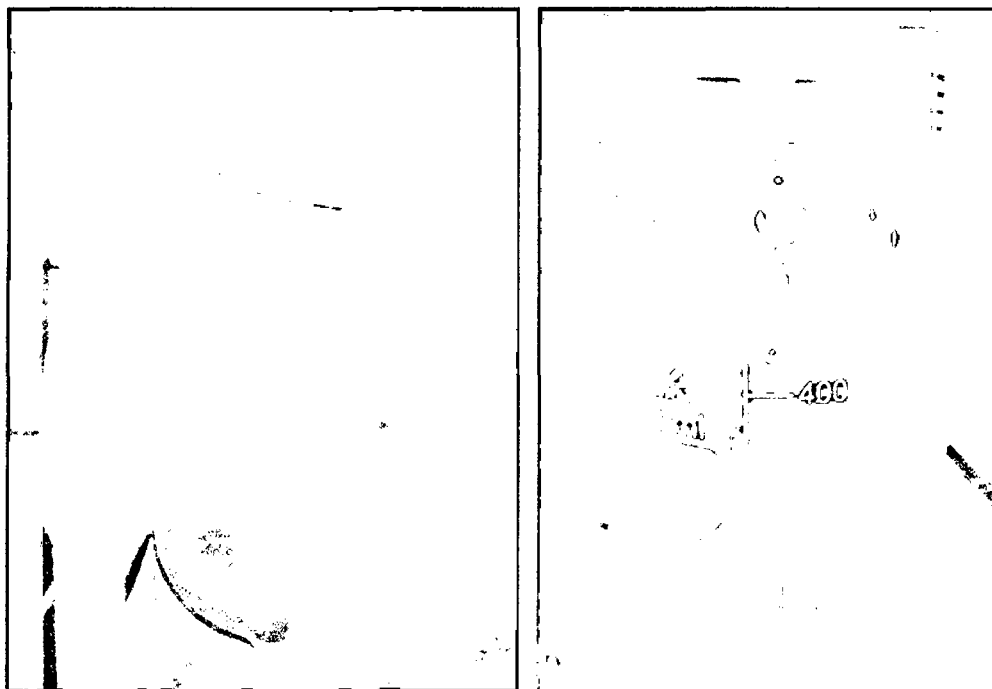
ANEXO N°14: Cosecha de materia prima (camu camu).



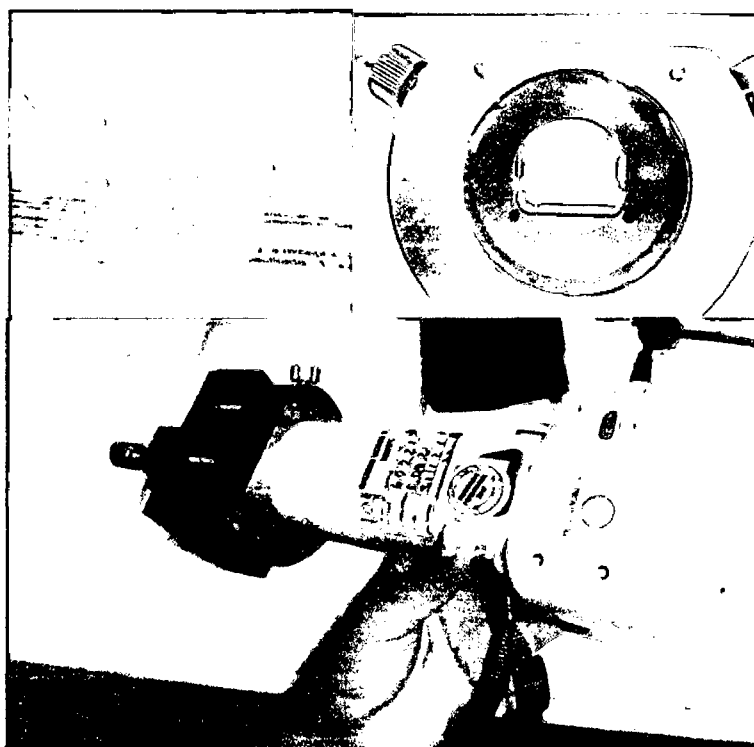
ANEXO N°15: Almacenamiento de Materia Prima por lotes (600g).



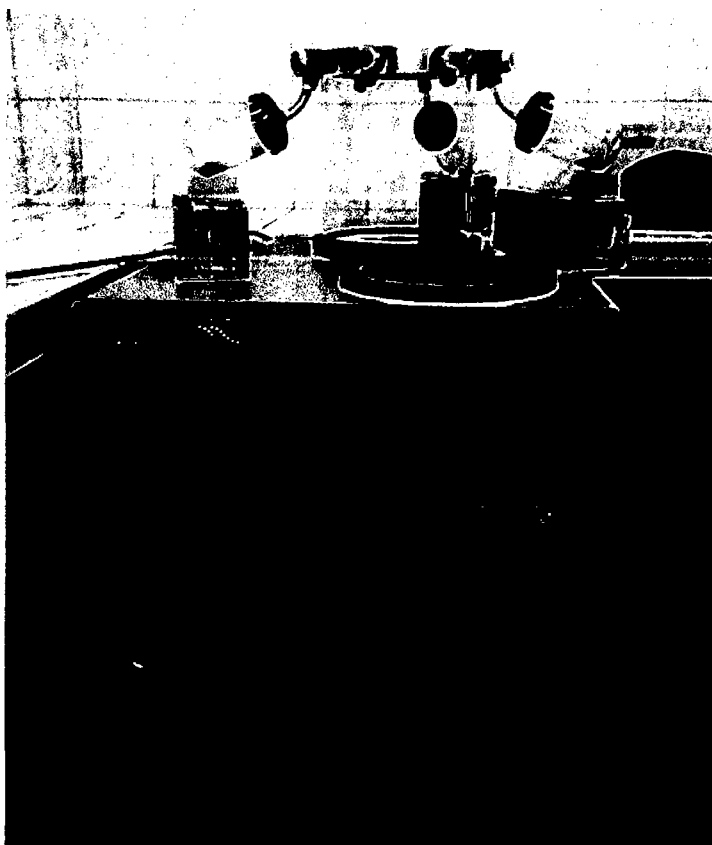
ANEXO N°16: Pulpa de camu camu (*Myrciaria dubia*) en estado pintón-maduro



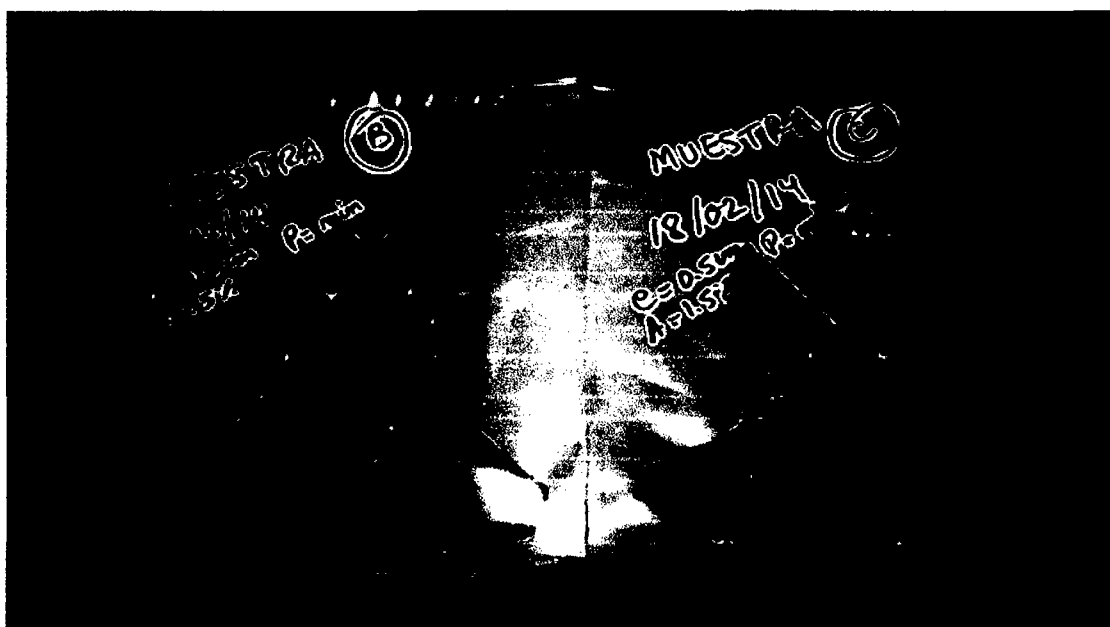
ANEXO N°17: Determinación de color de la pulpa de camu camu.



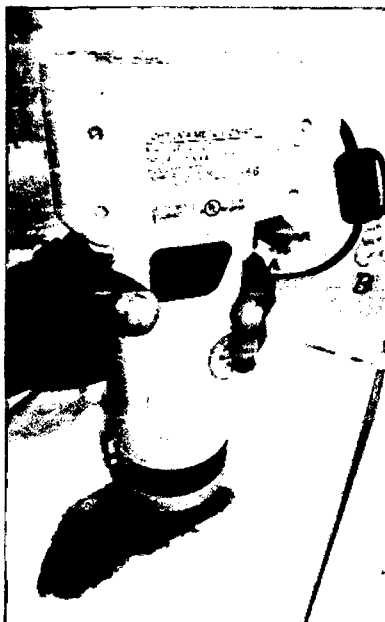
ANEXO N°18: Liofilización de la pulpa de camu camu.



ANEXO N°19: Pulpa de camu camu liofilizada



ANEXO N°20: Determinación de color de la pulpa de camu camu liofilizada



ANEXO N°21: Evaluación sensorial de los atributos de olor, color y apariencia general de la pulpa de camu camu liofilizada.

